# 时间之河

[俄] 伊戈尔·诺维科夫(Igor D. Novikov) 著

吴王杰 陆雪莹 闵 锐 译





上海科学技术出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

时间之河/(俄罗斯)诺维科夫著;吴王杰,陆雪莹,闵锐译.—上海:上海科学技术出版社,2001.11

(View·新视角™书系)

ISBN 7-5323-6150-0

Ⅰ.时…　Ⅱ.①诺…②吴…③陆…④闵…
Ⅲ.时间—普及读物　Ⅳ.P19-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第063765号



上海科学技术出版社出版、发行
(上海瑞金二路450号　邮政编码200020)
上海新华印刷厂印刷
新华书店上海发行所经销
开本850×1156　1/32　印张8.625　字数170千字
2001年11月第1版　2001年11月第1次印刷
印数:1-3 000
定价:18.00元

---

# 俄文版前言

塑造我命运的人是祖母。她抚养我长大，在她的关怀和爱护中我迈出记忆中的第一步。一次，她带给我一本书，《兔子兄弟历险记》(*Brer Rabbit's Adventures*)的俄文版。它促使我开始学习阅读，走入了另一个世界。还是我的祖母，从跳蚤市场买回了我的第一本科普读物。当时正处于第二次世界大战最艰难的时期，全家撤退到伏尔加的克拉斯诺卡姆斯克镇。人们首先考虑的是食物，书籍是一种昂贵的奢侈品。但祖母认为——记住，她本人没受过任何教育——喂饱孩子们的思想与喂饱他们的胃同样重要。她买回的(或交换来的)书极不寻常，我永远都不会忘记。那是一本《儿童百科全书》(*Children's Encyclopaedia*)，1917年以前的版本，有非常棒的彩页。在我印象中，它们的质量远胜过我在自己出版的书中找到的那些模糊不清的插图。

书中有一章介绍了天文学。从第一眼开始(与其他孩子一样，拿到新书后首先去翻看其中的彩页)，我就被其中一幅画深深吸引住了。画中有一个巨大的火焰喷泉，地球缩在一个小角落。后来我知道，这就是太阳的喷射，地球放在其中作为参照。这幅图片的壮丽景象给了我极大的震撼，自然现象的宏伟庄严远远超出了一个孩子想象力的极限。

那幅插图对我极其有益。它是如此的生机勃勃，同时又令人困惑，充满了神秘的吸引力。我狼吞虎咽地读完了所有关于天文学的内容，以及其他的章节。有些关于世界历史的内容也非常有趣，但没有什么能与天文学相比。宇宙空间的深度，太阳的漩涡，火星生命的可能性，这些神秘的宇宙现象紧紧抓住了我的好奇心，激发了我的想象力和热情。我找到了可从事一生的事业。

从很小的时候起，我就越来越肯定，促进智力发展、开发创造潜力的最好方法就是培养对自然奥秘永不停止的好奇心。好奇心会引导人们进步，激励人们去探索和奋斗，即使他们成不了科学家。

从那以后，我阅读了大量的科普读物。尽管它们比现在出版的类似作品要薄得多，但都非常棒。不久我就发现，如果想在科学上有所发现，需要学习的东西真是数不胜数。一旦内在的求知欲被点燃，世界上就再没有任何事物能阻挡我继续前进。从克服一些小问题开始，到更加深入的课题，多年的艰苦研究逐渐有了回报，我从中感受到越来越多的乐趣。

读者可能会问，为什么要写这些？

我想以自己的经历说明塑造我命运的两个关键因素。第一，一个人必须首先培养自己对科学知识强烈而真实的渴求，才会获得不断前进的动力。是否成为专职的科学家，这一点并不重要。对科学的热爱，对基础知识的掌握，对人类科学成就的欣赏，应该成为所有文化和艺术教育的出发点。现代社会中，没有音乐、绘画或书籍的生活是无法想象的。同样，如果

不能理解当今科学的最新发现，无法接受对大自然最本质问题的答案，也是无法想象的。前苏联著名物理学家维塔利·京茨堡（Vitaly Ginzburg），一次谈到“相对论”——当今物理学最完美的理论之一时说：“它在心灵中激起的感觉，与一个人在欣赏杰出的绘画或雕塑作品时的感受是相同的。”

这里，我想引用前苏联哲学家鲍里斯·库兹涅佐夫（Boris Kuznetsov）对古希腊艺术和科学的评论，说明人类文化中存在的共性。“它说明……米罗岛的维纳斯雕像和萨莫色雷斯岛的胜利女神雕像，永远都能激发起对永恒生命的赞叹，以及全新的印象、感觉和思想。以同样的方式，柏拉图（Plato）的《对话》（*Dialogues*）或亚里士多德（Aristotle）的《物理学》（*Physics*）也超越了时间而不朽”。

第二，为了成为一名物理学家或宇宙学家，真正加入到科学进程中，就必须掌握选定领域内的所有知识，浮光掠影地了解是绝对不够的。今天科学的复杂程度远超出一般人的想象，借助的数学工具也极其抽象和深奥，如果不从基础学科学起，根本无法从整体上把握问题的复杂性。实际的科学工作，要求你必须是运用数学工具的专家，并对现代数学及相关领域有深刻的理解。达到这一层次后，才可能研究物理学和宇宙学的核心课题。

并不是任何人凭借良好的愿望就能达到这一要求。只有少数人最终成为物理学家，不少人只停留在中学课本讲授的数学水平上。这是否意味着普通人就不能欣赏物理学深奥的成果，无法理解这门既深

入到物质最底层的结构，同时又在探究时间空间量化的学科呢？

当然不是。物理学家能够向任何感兴趣的听众清楚而准确地阐明物理学取得的最新成果，而无需借助任何数学工具，只不过必须略去所有的细节、计算中遇到的困难和导出结论所需的逻辑推理，并要以生动的描述，为听众创建物理世界生动的画面，使他们对物理学家试图解决的问题有一个明确的感性认识。惟有如此，才能帮助听众理解并欣赏现代科学所取得的成就。但切记，如果您既不是专业人员，也不是物理学家，通过阅读一些物理学科普读物，就试图提出“假说”，解决书中提出的问题，这是不现实的。对物理问题的语言描述，绝不等同于随意的想象。您必须首先成为该领域内的专家，才可能提出有用的“假说”，虽然所有人都能从专家对物理世界的生动描述中获益。

举个例子，我尽管非常喜欢音乐，但上帝没有给我音乐家的耳朵。我永远都不可能作曲，甚至不会演奏简单的曲子。但聆听天才演奏家或专业人士重现大师们的作品，对我确实是莫大的享受。

就大多数人而言，不会绘画，并不妨碍他们欣赏优秀的美术作品；不会写作，依然能从阅读中得到乐趣。

我个人坚信，为了让普通人理解科学，作者必须与上述例子中的艺术家一样，为读者或听众创造一个生动的、能留下强烈印象的画面。

本书的主题是时间，或者说是科学家试图回答

“什么是时间？”。读者很可能会问，为什么要有一门专门研究时间的科学？难道时间不是每个人都知道的事吗？关于时间，能研究什么呢？

我建议您先试着为时间下个定义。我个人相信您不可能做到这一点。圣奥古斯丁（公元前354～430）写道：“在我不去思索的时候，我才知道时间是什么。一旦我开始深入地思考——困惑袭来，时间变成了一个未知的谜。”

难道你不认为，无论是谁，只要试图寻找这个问题的答案，就会感到同样的困惑？当我们开始考虑时间的属性，就会觉得它是一条不可抗拒的河流，所有事件都嵌在其中。人类长久以来的经验似乎证明时间永远以不变的步伐前进，既不会减慢，也不会加快。而最为肯定的是，时间无法逆转。在科学发展的长河中，“时间”只是人们的一种直觉感受和抽象哲学思维的对象。

20世纪初，科学家们首次发现时间是可以改变的。例如，快速运动的物体能够减缓时间的运动。接下来又发现，时间流还受到引力场的作用，时间和空间具有不可分割的联系。从此，“时间（和空间）物理学”诞生了，并有了长足的发展。关于天文学和物理基本粒子的最新发现，大大加深了我们对时间那些令人着迷的属性的理解，也许会使我们更接近时间之谜的谜底。（例如，为什么事件链只能是一维的，没有人们熟知的三维空间的“宽度”和“高度”？我们现在看到的宇宙，在它出现之前有什么？等等。）

物理学最新的突破集中于对物质结构的了解。

20世纪的最初10年，物理学家们成功地发现了原子的结构，找到了原子粒子间的相互作用。现在，物理学家们的注意力转向了夸克，一种比原子核更小的基本粒子，越来越深入地探索着微观世界。这些发现同时也促进了对时间属性的理解。

本书介绍了以前的思想家对时间的定义；20世纪初物理学重大发现的诞生过程——正是这些成就，使我们第一次了解到时间可以改变；时间在特定宇宙空间的流动过程；我们的邻居中子星上的时间如何变慢；黑洞中的时间如何终止；时间如何在白洞边缘四处飞溅；以及时间和空间的互相转换等。

我们尤其感兴趣的是宇宙诞生之初，发生大爆炸那一刻的时间属性。在这个特定时期，时间以离散的量子形式存在。

高能物理中的时间属性对于自然科学的发展和未来的科技都会产生重大影响。某些最新的文章已声称完全有可能设计出穿越时间、返回过去的时间机器。

本书还介绍了时间物理学的开拓者，以及目前正在这一领域中工作的学者。大多数的教科书和出版物在提到那些伟大的思想家和先行者，或当代杰出的科学家时，似乎他们只是些抽象的名字，语言毫无感情、干瘪乏味，极少把他们看作有血有肉的普通人，忽略了他们的兴趣、感情和内心矛盾。当我在书中谈到这些科学家的科学创造活动时，尽可能地寻找能表现他们真实感情和性格的事件。我绝不想写成琐碎的传记或者机械地列出一张科学成就表。

本书适用于对下列主题感兴趣的读者：科学史、当代科学面临的问题、科学家，特别是那些我有幸与之交往或共事的当代物理学家们的个人肖像。阅读本书无需高深的背景知识，了解中学课本中的基本物理概念就可以了。

读者会发现，我的表述方式非常个人化，在介绍我参与过的研究课题，或者描述与其他物理学家和宇宙学家会面的情景时，更是如此。关于这一点，我想引用维塔利·京茨堡教授的一段话，他这样评论他撰写的科学论文中的一个章节：

在科学文献中很少使用“我”这个字眼，尤其在俄文中。同样的规则也适用于科普读物，所以作者提到自己时，通常使用“我们”或者其他适用的词汇。不过，在本文的这个章节中，继续遵守这条规则不仅困难，而且会损害文章的可读性，因为它在很大程度上带有自传的性质……因此我希望，加入一些第一人称代词不会引起读者的不快。

我希望读者不会因为我如此“不谦虚”地谈论我个人的思想和印象而对我进行严厉的指责*。

本书的写作过程中，用到了我以前出版的关于物理学和宇宙学的科普读物中的一些内容。它们中有部分是与他人合写的，在此谨向我的合作者们表示感谢。

---

*对于英文读者，可能很难理解这种自我评判。就我所知，英文科普读物的作者，使用第一人称代词“我”或“我自己”时，并没有什么限制。但显然，俄文读物并非如此——英文版译者注。

本书中加入了大量的引用。公众一般很少有机会接触过去和现在那些杰出科学家们发出的声音。我坚信，只有这些伟大灵魂的原话，才能准确地向读者传达他们的思想（和感情）。伟大的俄国诗人普希金(Aleksander Pushkin)说过："跟随伟人的思想，是最为迷人和崇高的事情"。

伊戈尔·诺维科夫

于莫斯科

# 英文版前言

1991 年底，我就着手准备这本书的英文版。由于各种原因，用了许多年的时间才最后完成。东方有句古语："时光如梭，光阴似箭。"主观上，人们通过小时、天和年来记录时光的流逝，对大多数人来说，活着的时间越长，对于时光飞逝的感觉就越是强烈。虽然许多年已经过去，许多事已经发生或改变，但我依然能清晰地感觉到，仿佛就是在昨天，我才开始提笔写这本书。当时，我刚换了一份新工作，成为哥本哈根大学的一位天文物理学教授。我出生在前苏联，它曾经是一个超级大国，现在却四分五裂。它的人民正不断尝试着，从历史原因造成的严重后果中寻找新的出路。虽然我还担任着莫斯科彼得·列别杰夫物理研究所理论天文物理学部的领导职务，但我已经离开了自己的国家，在另一个全然不同的世界里定居。尽管由此带来的变化比我想象中的要小得多，但已极大地改变了我对于生活的设想，和对于这本书的态度。

小时候，在亲戚的鼓励下，我对宇宙的奥秘产生了极大的热情。对我而言，这是一个完全不同的世界，在这个世界中只有事实和真理。当我沉醉于其中时，就能摆脱充满不幸的现实世界，不必去想现实生活中日复一日的矛盾，以至于我甚至很少意识到这

些不幸和矛盾的存在。我对宇宙事实间的逻辑关系产生了浓厚的兴趣，并深深地爱上了这门学科。从我现在能够回想起的童年时代开始，就坚信关于空间、时间和宇宙的基本事实都能被人类所理解，并最终建立起相关的理论。我无法想象，科学经过一千年的发展，而直到我出生的时候却没有发现，什么是我们这个社会中最重要的知识。过去，我一直认为我知道或能够发现最终的真理。但现在，作为一名科学家，我不得不和这种极其有害的观点作斗争。事实上，无论在生活中还是在科学领域，这种观点都是十分危险的。

因此，是心理因素增长了我对知识的渴望，这种热切的渴望也就是对伟大、神秘（特别是神秘）和永恒的热爱。

在其他一些领域，我相信自己是时间物理学方面的专家。在我所写的关于时间的书中，我几乎不可能不提到我个人对时光流逝的感觉和对20世纪后半叶时代变迁的看法。

如果一个人对“存在”产生的意义思考过多的话，迟早他会对“爬上时间之河的河岸”，对“超脱于时间的洪流”，对于“停滞不动”……等等假设产生疑问，也就是说，他会对事物发展的本质进行探究。

如果他意识到我们确实能中止空间的旅行并停下来“歇着”的话，这些疑问将不再会显得奇怪。那为什么我们不能在时间中也这样做呢？

在这里，我要说明的是，与俄文版相比，本书的

英文版做了大量的修改，删除了一些臃肿的章节；同时增添了一些新的素材，主要是对制造时间机器可能性的进一步分析；还增添了一些章节，概括介绍了我和我在苏联及西方的同事们进行的讨论，以及其他一些内容。

在结束这篇序言的时候，我想对俄文版序言中提到的“艺术”和“科学”之间的比较作几点补充。

人们可以把绘画粗略地分为写实和抽象两大类。无论哪种类型的绘画都能激发观众的情感（一幅伟大的作品，会在观众的心中掀起轩然大波），但是抽象艺术要求观众对作品的创作过程进行想象，想象得越深入就能越发深入地体会到作者想要表达的情感，写实主义绘画则因为作者创造的完美的综合视觉形象而产生许多不同效果。

我认为一部关于科技方面的著作（至少是我的著作）更应是一幅写实主义绘画作品，而非一幅抽象派作品。我这里所指的著作，不包括那些为了使非专业的读者们也能共同寻找结论，而故意用“抽象绘画”的手法来写的科学著作。阅读这些作品时，非专业读者的幻想会使他或她迷失方向，这也许会很有趣，也许是人们所期望的（今后的某一天也许我也会试着写这样一部作品），但这种作品肯定无法使读者形成一个关于科技状况的整体印象。科学不是梦而是现实，通常是很有用、很实际、很必要的现实。当然我不会忘记，如果没有梦想，就不会有科学上所取得的成就。近些年来，在我准备这本书的英文版的同时，我还是哥本哈根大学天文观测站的在职教授，同

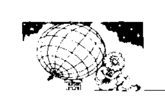
时也是丹麦国家研究基金、理论天文物理学中心的主任。两个研究机构都对我的研究工作给予了极大的支持和鼓励。我再次向他们表示我衷心的感谢。

# 目　录

# 第一章

# 时间认知的起源







从开始阅读物理方面的科普书刊起，我就认为时间仅仅是一个空洞的区间，就像河中流动的河水，水流中不分彼此地夹杂着所有事件奔流而下，这激流既不能改变也无法停止，只能沿着惟一的方向流动——从过去到未来。

从表面上看，基于我们对周围事物的理解，这种对于时间的认识是勿庸置疑的。

许多年后，我了解到：并非所有人都赞同这种或与之相似的观念，有些观念甚至大不相同。

以弗所*的赫拉克利特（Heraclitus），是生活在公元前6世纪晚期古希腊的一名哲学家，可能是最早认识到世界万物都在不停地变化，可变性是自然界最高法则（所有事物都在发展，没有事物是停滞不前的）的古代学者之一。赫拉克利特把他的观点写进《关于自然》（*About Nature*），可惜的是这本书只有部分片段保留至今。

赫拉克利特认为在整个世界中充满着矛盾、对立和不同性，所有事物都在不断变化。时间无情地飞逝，世间存在的万物和永不停息的时间一起运动。天空在运动，物体在运动，人的感觉和意识也在运动。“你不可能两次踏进同一条河流。”

* 古希腊小亚细亚西岸的一重要贸易城市——译者注。





他说，“因为河中的水是不断更新的。”新事物将不断替代旧事物。“构成世界万物的四大要素：土壤、空气、水和火，土壤消逝，火种出现；火种消逝，空气出现；空气消逝，流水出现；流水消逝，土壤出现；循环往复，生生不息。”

以我们现在的知识水平，我们会以讽刺的眼光看待赫拉克利特关于事物变化链的描述。然而，他使我们对随着时光流逝，世间万物都具有的变化性有了深刻的印象“……事物都在神创的轮回中变化。”

科学诞生于遥远的古代，当时的思想家还没有建立进化发展的概念。人们只观察到在自己生活的自然环境中出现的周而复始现象。白天结束黑夜到来，黑夜结束白天到来。一年之中，春夏秋冬四季不断交替，太阳照射的变化也是循环的。

不断观察这些现象的结果是：时间没有被认为是无处不在的单一方向的时间流，也就是“时间之河”。时间被认为是对立双方循环变化的结果。例如：米利都*的希腊数学家和哲学家阿那克西曼德（Anaximander，约公元前610～公元前547）认为任何事物存在的基础都是“无限性”。一个事物永恒的运动导致其对立面的产生：热和冷，干燥和潮湿；最终所有事物都回到原始状态。阿那克西曼德这样写道：

事物存在和消亡的本质通常是相同的，它们之间的转化是必然的。它们相互在指定的时间向对方转化，作为对破坏的补偿。

我现在认为，这段话是最早对时间和可变性的解释，它

---

* 小亚细亚西部一爱奥尼亚古城，位于今土耳其境内。公元前1000年被希腊人占领，成为重要的贸易中心及殖民定居地，同时也是繁荣的文化中心。在基督教兴起早期，该城因港口淤泥阻塞而衰落——译者注。

使时间和可变性与秩序和均衡联系在一起。

然而，许多世纪中，思想家们都认为循环变化是暂时的，世界作为一个整体是不变的。人们相信：所有循环变化的现象最终要回到“它们应有的轨道上”。

著名的希腊理想主义思想家柏拉图（公元前427~公元前347）进一步深化了对时间的认识，提出了许多有趣和深入的观点。

柏拉图是苏格拉底（公元前470~公元前379）的学生，被认为是希腊最杰出的人。他出生于一个富有而古老的家族，这个家族的起源可以追溯到雅典的最后一个国王。我们对柏拉图及其同时期的思想家的生活知之甚少，仅有一些传说和奇闻轶事在广为流传。据我们所知，柏拉图在最好的老师指点下，接受了最完整的训练，这就意味着他学习了语法、音乐和体操。之后他开始了诗歌创作。在公元前407年，20岁的柏拉图遇见了苏格拉底，并全身心地投入到哲学的研究之中。

苏格拉底的教学方法是引导任何愿意听他教导的人进行自由讨论。虽然统治者禁止年轻学生进行这种讨论，但是苏格拉底坚持自己的原则，对禁令视而不见。他和学生之间这种毫无拘束的讨论招致了悲惨的结局，他被认为是无神论者，并因向青年们宣扬异端邪说而遭到囚禁。他的朋友们设法帮助他越狱，学生们（包括柏拉图）到处筹钱设法保释他，但苏格拉底选择了尊严和死亡：他拒绝从监狱逃跑。最终当局匆匆判处他死刑，强制他喝下了一杯毒酒。

苏格拉底死后，柏拉图移居到迈加拉*并继续进行哲学

* 希腊中东部古城。它是迈加里斯的首都，是位于萨罗尼克湾及科林斯湾之间的多利斯人的小城邦。迈加拉从公元前8世纪至公元前5世纪是一个繁荣的海运中心——译者注。



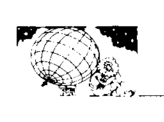
研究。他东奔西走，试图说服当时的统治者建立一个由哲学家统治的“理想国家”，这些企图最终都失败了。一些（不可靠的）证据显示他曾经被卖为奴隶，但他使自己重获自由并返回了希腊。公元前386年，柏拉图重返雅典，创建了自己的哲学学校，称之为“学院”。

柏拉图认为人们观察和研究的世界并非“实在世界”，而只是“实在世界”的外部体现。所有天体和地球上的物体都是构成实在世界的理想物体的“影子”，“这些影子是不完美的、可变的。”柏拉图认为“实在世界”是由抽象的本质（他称之为“理念”）构成。“理念”是一些“非物质实体”，它们非常完美，不可改变。“理念”既不存在于我们的物质宇宙中，也不存在于空间和时间中，它们只存在于完美和永恒的理想世界中。

柏拉图认为真实存在是一种理念的存在。例如：真正的抽象世界并不包括某一个具体的物体，如一张具有某种颜色或形状的木桌，而是包括某种具体物体的抽象概念，如“桌子”。这种概念就是“关于桌子的理念”。

明显地，这个理念是不能改变的。理念永恒的不可变性和几何学中的某些形状概念相似，如三角形、圆和棱锥。这些图形的形状是保持绝对不变的，同时，这些图形还存在于人意识的抽象世界里。然而，柏拉图进一步认为真实的现实等同于这个抽象的世界。

根据柏拉图的观点，造物主通过对理念物体的“复制”而创造出可被我们看见的世界，每个真实物体都试图和它的原物体保持一致，但不可避免地会有一些改变。每个真实物体都有一个开始也有一个终结。因此，“模糊的影子”不能完全正确地复制出其“理念”。理念本身是永恒的，同时，我们看





得见的世界却在一直不停地变化。为了使各种事物有秩序地存在，削弱矛盾冲突，造物主创造了时间。“造物主希望给永恒创造一个动态的相似物：在创建天堂时，他为永恒创造了一个同样无始无终、从一点运动到另一点的映像，也就是所谓的时间。”

因而，我们通过观察、触摸而认识到的物体，柏拉图认为是对这些物体在理念世界中的理念原型的不完美的复制。时间就是一个不完美的“模型”，是理念永恒的一个映像。时间不停地流逝，模仿着只存在于抽象的理念世界中的永远不变的、完美的、抽象的“永恒”。

这听起来很美，柏拉图甚至设想了在上帝创造的世界中产生时间的机制。他认为，时间诞生于天体的运动中，诞生于太阳、月亮和人们观察到的行星的永恒不变的循环运动中。事实上，柏拉图正是通过这种循环运动来定义时间的。

因为，天体是循环运动的，所以时间也是循环运动的，就像是沿圆周跑动一样。柏拉图认为在我们这个世界中，每样事物都会在经历很长时间后重现（柏拉图甚至认为这段时间是 36 000 年）。

现在和柏拉图所处的时代已相距久远，因此很难弄清楚当时到底对时间了解到什么程度，以及在当时的文化背景下，人们如何进行推理。通常来说，人们无法用确切的标准来衡量那些在漫长的揭示真理的道路上迈出大胆步伐的古代天才的科学思想家。由于这些原因，同时也因为缺乏可靠的资料，现在就更加难以重现古代哲学家们复杂多样的性格，及他们不同寻常的个人生活。

在当时，科学还没有产生像现在这样多的分支，除了哲学、心理学和伦理学三者外，没有其他种类的科学。通常，知





识、情感、社会及道德彼此关联并相互影响。柏拉图选择对话的形式进行创作,所以并没有系统地阐述他的观点和思想。这些对话是在柏拉图一生的不同时期完成的，其中至少包括一些他和诡辩学者 * 及其他对手之间的辩论，以及他生活中遇到的许多问题，这些对话通常由苏格拉底主持。

柏拉图的观点不断变化。当他还是苏格拉底的学生的时候，就相信一个哲学家应该自由地应用他的思维能力去探知抽象的真理。这种独立于外部环境的对抽象的真理的认知会带来无限的乐趣。和苏格拉底一样，柏拉图相信由于人们的无知，对真理的无知才导致世界上种种邪恶的产生。

无辜的苏格拉底被处死的事实，对柏拉图的心灵产生了强烈的震撼，他的观点也因此而起了变化。他由此得出一个结论，像这样一个充满残忍的世界不可能是一个实在世界，实在世界是一个由完美理念构成的世界。在这一时期，柏拉图对哲学家的使命就是教会人们什么是美好的观点产生了怀疑。他相信人们是无可救药的。在他的对话集中，他给苏格拉底的第一原告画了一幅像。这个仇视英雄的人宣称只有公务员才是真正劝人为善的老师，而那些所谓的贤人们只不过是对社会基础的恶意破坏者。在这段对话中，苏格拉底问道:是否这位仇视英雄的人熟悉那些贤人？回答是：他不熟悉，也不打算熟悉，但他却尽其所能加害他们……

在柏拉图以后的生活中，他试图在写作中创造一个他认为是“理想”的国家模式，这个国家是由哲学家来统治。当然，希腊毫无疑问地凌驾于其他国家（未开化国家）之上。后来，柏拉图试图通过对统治者施加影响来使社会结构朝他设

* 古希腊以教授修辞学、哲学为职业并以善于诡辩出名的人——译者注。




想的方向发生实质性变化，但就像我前面提到的那样，他彻底地失败了。

在他最后的著作《法律》(*The Laws*) 中，他彻底放弃了年轻时对真理和平等的追求。这本书可能是在他年迈时写的。在这本书中苏格拉底并没有被放在重要位置，事实上，这位老师几乎没有被提到。这本书中所阐述的精神和苏格拉底的基本原则是完全背道而驰的。

在这本柏拉图为未来克利特岛上的“理想国家”设计的“法典”中，他把“魔术师”、不及时向官方报告“破坏社会安定”行为的奴隶、任何胆敢对受官方保护和法定宗教认可的社会秩序提出批评的人都归入了死刑判罚之列。这样，在他生命的最后阶段，柏拉图的观点变得和他以前曾经攻击过的、仇视英雄的人相同。

柏拉图是最伟大的思想家之一。后人总倾向于使伟人的形象理想化。然而，即使是伟大的个性，通常也不是一成不变的。个性都是复杂和相互矛盾的，而且会随着外部影响的不同而改变。伟人和其他人一样，也是一个人。一位对柏拉图的著作很有研究的专家，德国语言学家阿斯特（G. Ast, 1778～1841），出于最崇高的动机，试图把《法律》这本书归结为一本他人冒用柏拉图的名义写成的书。唉！但遗憾的是，这本书极有可能是柏拉图亲笔所著。我们是根据柏拉图最著名的学生，斯塔吉拉*的亚里士多德（公元前384～公元前322）的话得出这一结论的。尽管柏拉图内心深处矛盾重重，生活经历崎岖坎坷，在一些论述中毫不掩饰地表现出截然不同的思想，但这一切丝毫无损于他对科学和哲学所做出的巨

* 马其顿的一座古城，位于希腊东北部，是亚里士多德的出生地——译者注。



大贡献。

让我们再回到时间这个问题上来。亚里士多德和柏拉图一样认为时间的本质是循环的。亚里士多德是古希腊最伟大的科学家之一，具有富于幻想的性格。他的父亲是马其顿王朝的一位宫廷医生，他教给自己的儿子医学和哲学知识，原指望亚里士多德能继承他的职位，但生活无情地改变了这个计划。亚里士多德很小的时候就父母双亡，18 岁时来到柏拉图在雅典开办的学院。他很快就掌握了老师的哲学思想，并逐渐成为一名独立的哲学家。他的观点和老师的观点有着显著的不同。柏拉图死后不久，亚里士多德就离开了雅典。公元前 343 年，马其顿国王——菲利普（Philip）委任亚里士多德教育他的儿子亚历山大（Alexander），也就是后来著名的统治者亚历山大大帝。尽管皇宫中充满着阴险狡诈的气氛，但亚里士多德高尚的品质却对亚历山大产生了强烈的影响。菲利普和亚历山大非常感谢亚里士多德，并对他所做的一切给予了热情的回报，为此还重建了已变成废墟的斯塔吉拉，那是亚里士多德出生的城市。后来，各种阴谋最终破坏了亚历山大和亚里士多德之间的友谊。

但在此之前，亚里士多德已在公元前334年回到了雅典，并建立了自己的学校，校名为“逍遥派学园”（即著名的吕克昂学府），也许是因为他在讲学时有不停走动的习惯才有了这个校名。亚历山大死后，希腊独立党反对马其顿的统治者，因而认为亚历山大的老师亚里士多德是一个巨大的威胁。与此同时，亚里士多德却受到他周围年轻一代的衷心拥护。他被以无神论者的罪名起诉，这一罪名在亚里士多德以前及以后的很长时间里都被科学家的敌人用来对付这些学者。事实证明，用这一罪名对付科学家十分有效，因为它很容易被广大




无知的普通群众所接受。亚里士多德意识到公正的审判是不可能的，如果不设法逃跑的话，他将得到和苏格拉底同样的命运。因此，62 岁的亚里士多德决定逃离雅典，而在他成功逃亡之后不久便与世长辞了。

根据与他同时代人的回忆，亚里士多德言语尖刻，是一位讽刺大师，常用充满智慧的发言取笑对手，他为人冷峻但又爱开玩笑。如果我们再加上他的一些别的特点，如个子矮小、近视、说话含糊不清，那么很容易就能够想到，这样一个人是极易四处树敌的。

现在看来，亚里士多德其实并没有刻意炫耀其推理能力，从而使他的论述准确精致。现在已无法知道这种行为是有意还是无意。巧合的是，许多年后的另一位天才牛顿爵士（Sir Isaac Newton），在年轻时（他当时 27 岁）得出了一个不同的结论，大致内容是：毫无意义地展示个人不同寻常的智力，只会给要完成的工作带来损害。他在给剑桥大学的一位好友的信中这样写道：如果你表现得比你周围的人更聪明或者更博学，那就只能学到很少的东西或什么也学不到。

处理相同的社会关系的态度有着天壤之别，这也许并非因为彼此所处的年代相差久远，而是由于各自的气质不同。一般而言，与普通人一样，天才们之间的差别也是巨大的。

亚里士多德对以后科学和哲学的发展产生了巨大的影响。他的著作对整个科学的现状做了总结，并对某些领域做出了重大贡献。和柏拉图相比，亚里士多德不认为有一个和时间无关的、非物质的理念世界存在，他认为这个能被我们用眼睛观察和用手触摸的世界是真实的。亚里士多德认为，物理学是一门研究实在世界中存在的物体的变化的科学，这就将物理学与只研究内在的、不变的数字和形状的数学区别开来，





不过他的物理学仍是一门以推理为基础的科学。

亚里士多德认为，物质最基本的属性是对立："热"和"冷"；"干燥"和"潮湿"；最基本的元素是土、空气、水和火。在此基础上，他又增添了一种最完美的元素叫"以太"。亚里士多德认为所有元素中最主要的两种元素是土和水，这两种元素不断向宇宙的中心沉降（这是他对重量的解释；我们现在说它们受到向下拉力的作用）。与之相反，空气和火不断上升（我们现在说它们受到向上拉力的作用）。很有趣的是，这种把宇宙组成划分为"物质"和"相互间作用力"的思想在物理学中延续至今，虽然两者的含义已完全不同。

亚里士多德认为地球是个静止不动的球，处于宇宙的中心；月亮、太阳和其他行星都固定在一个如水晶般透明的天球上，沿着以地球为中心的同心轨道旋转。它们的旋转由天球最外层所推动，天球的最外层镶嵌着由以太构成的恒星。在月亮轨道内部（"月下区域"），存在着多种多样的运动形式。在月亮轨道以外（"月上区域"），所有的运动形式都是永恒、统一和完美的。

与柏拉图不同的是，亚里士多德推测，即使是最完美的天球最外层的旋转运动，也不与时间同步。他认为时间的出现使对运动的测量成为可能，即"时间是运动的计数"，通过时间我们可以区分物体运动的快慢或者它是否处于静止状态。

然而，亚里士多德感兴趣的物理学并不是运动本身——一种动态过程，而是物体之前与之后的状态，换句话说，是物体的起始和终结状态。因此，对亚里士多德来说，时间并不像它在当代物理学中那样重要。

在亚里士多德死后的许多年里，他的理论被教会推崇为经典，每一句话都"绝对正确"，禁止对他的理论做任何修改，





这成为后来科学发展的巨大障碍。

在结束对古代思想的回顾之前，我想引用哲学家鲍里斯·库兹涅佐夫对那个时代文化的一段论述，来做个总结：

总的来说，古代文化使我们对当时人们的情感和思维方式、知识的发展、逻辑性规范和历史事实有了深刻的印象。当我们注视着米罗岛的维纳斯雕像，她的美丽使我们意识到什么是局部和整体的完美和谐。这种感觉是如此的强烈，好像我们由此能感受到后来文明发展的整个过程，就像通过一个人的童年，我们能够看到他未来的样子。

# 第二章

# 时间科学的诞生







文艺复兴时期代替了灰暗的中世纪，这为自然科学带来了一些杰出的发现。尼古拉斯·哥白尼(Nicolaus Copernicus)(1473～1543）就是在这个时期发展了他的理论，这个理论日后使得人们的世界观发生了很大的改变。首先，这个新概念消除了陆地和天空之间难以逾越的障碍。从前，天空中的一切都是完美、永恒和理想的象征。天体是完美的，就像它们始终如一的圆周运动一样。这种完美与地球上纷乱的物质以及它们混乱不堪的无规则运动正好相反。哥白尼的模型表明，地球就像其他行星一样，是一个围绕着太阳旋转的普通行星。

1510年，在波兰维斯图拉河岸边的一个小镇，哥白尼成为位于弗龙堡的天主教堂的教士。在这个安静偏僻的小镇，他从事着天文学研究。实际上，在业余时间他也做一些其他事情，如为那些没有钱的病人治病。根据他的建议，波兰引进了一种新的货币体制。他设计并制造了一种能够给住户提供用水的水压机。

对于发表他的研究成果，哥白尼是十分小心的；他清楚地认识到他的理论是与天主教的地球和人类在宇宙中是处于主宰地位的学说相矛盾的。他的论文《天体运行论》(*On the Revolution of Celestial Spheres*）献给罗马教皇保罗三世



(此举得到了教廷的一致认可)，在他死前不久的1543年发表。事实上，在论文发表很久之前，哥白尼就总结过他的主要结论。大约在1515年，在他的著作《小评论》(Smaller Commentary)中写道:

我们观察到的所有运动，例如像太阳的那些运动，其实并不是太阳自身的运动，而是太阳和地球共同运动的结果。像任何其他的行星一样，地球绕着太阳旋转。地球同时做几种运动。行星那些看起来很明显的由西向东的运动和由东向西的运动并不是由于行星本身的运动，而是由于地球的运动。因此，地球的这种运动足以解释我们所观察到的天空中大量的不规则事物。

现在，我们很难想象在那个时代，一个人的思维方式要达到怎样一种不寻常的程度，才敢于说出地球不是静止的观点。关键在于它还不仅仅只是与教会的信条不一致。实际上，亚里士多德的学说统治了科学，指出任何运动必须有力不断地来维持(科学还不知道任何惯性运动的知识)，并假设如果地球是旋转的，结果陆地将会出现的现象是：空气静止不动，因此在旋转的地球上会产生飓风；人从塔上落下，将不会落到塔底，因为塔底的地面旋转走了，等等。

这说明哥白尼必须与亚里士多德对于运动的错误理解作辩论，而这些错误的观念已经根植在人们思想里几个世纪了。难于克服这些错误观念的原因还有一个，即人们认为要获取自然界的知识，不必通过观察或实验，对于要建立一条原理，只要努力思考，并且通过逻辑推论来阐述其成立的理由就足够了。

采用天文学的观察资料，哥白尼不仅创造了一个新的太阳系模型，而且事实上是第一次向亚里士多德学派的物理学





教条提出了挑战。他认为就像地球上存在静止的物体一样，地球上一定存在着作惯性运动的物体：

为什么不把每天的旋转认为是天空在旋转，而认为是地球在旋转？的确，当一艘轮船在平静的水面上航行的时候，船员看到船外的物体好像是跟着轮船一起移动，而船员和船上的物体似乎是不动的。同样的事情无庸置疑地发生在运动的地球上，并且人们可以推断出整个宇宙都在旋转。那么对于云朵和其他的不知何故在空中盘旋、下降、上升的物体，我们该怎么解释呢？我们只能说，不仅干燥的陆地与连接着它的水域一起移动，而且和相当大部分的空气以及以某种方式与地球相连接的每件事物一起移动……

……由于这个原因，邻近地球的空气和所有的盘旋在空气中的东西，如果它们没有被风或任何其他的外力向一个方向或另一个方向推动的话（这种事情经常发生），对我们来说它们好像都是静止的。

这一段清楚地刻画了运动的相对性和惯性运动的属性。在一个世纪之后，伽利略（Galileo）给出了它的最后公式。

任何人在他的儿童时代或少年时期初次学习力学定律时，都极有可能要很费神地来消化这个概念：在一个移动的、没有窗户的火车车厢里，某人将一个物体从某个高度掉下，它一定会掉在这个人的脚下，就像在静止的车厢中掉落一样。在我们这个时代，由于频繁地乘火车、汽车、飞机旅行，从儿时起我们就已经习惯于上述现象了。然而我清楚地记得我的惊奇，那是在我10岁的时候，乘着一辆飞速奔驰的卡车行驶在赫尔松平原上，我观察一个球从我手里掉落，每一次都恰好掉在下方地板上的同一点，尽管卡车的速度非常之快——以儿童的标准而言。我原以为卡车的地板会在球的下方飞奔向





前。要理解这一点并不容易：从我手中释放的球，由于惯性而和卡车一起继续运动，并保持着和在我手中时相同的速度，也就是我释放它之前时我身体的速度和卡车的速度。

起初，哥白尼的学说并没有引起天主教会特别的担忧，其影响部分地由一位不知名的神学家为《天体运行论》而写的未署名的序言而消除了。它宣称作者的目的只在于为天体的观测位置提供一种力学计算方法，而决不是试图决定天体的实际运动。序言中写道："他的假说也许是错误的，甚至是不大可能的，只要能导出符合于我们的观察的计算结果就行。"

然而在17世纪初期，当哥白尼的理论作为事实上与教会的教义相抵制的理论开始在欧洲传播时，该著作被列为禁书并遭禁锢长达两个多世纪。

在这一时期，伽利略（1564～1642）对物理学提出了新的见解，并首次系统地阐述了时间科学的基础，后来，它又在牛顿的研究中得到了圆满的发展。

伽利略在科学上取得了很多重大的发现，毫无疑问，读者们对这些发现都有所了解。然而，在这些发现中最重要的是他对自然科学的新颖的处理方法，他深信，要研究自然现象，就必须首先要做一些经过深思熟虑的实验。只有通过"对自然提出问题"，并通过实验对假设做出验证，才能了解我们周围的世界。这样，他与亚里士多德的方法就截然不同了，因为亚里士多德认为通过纯粹的逻辑推理就可以了解世界。伽利略还认为，只通过表面的观察而不对数据做深入的分析，就可能导致错误的结论。

这就是研究自然的现代方法的开始。爱因斯坦（Albert Einstein）说过，"将理论和实验联系起来的科学，实际上诞





生于伽利略的工作”。

伽利略在物理学上的发现，是以他所进行的大量的实验为基础的。我们所要讲的最重要的故事，就是惯性和惯性运动的发现。

多少世纪以来，对运动物体的观察使人们确信，除非维持一个动作，例如推动滚动的小球，否则物体将会停止下来。亚里士多德对这些观察现象做了如下的总结：“如果施加于物体上的力停止了，那么运动的物体也将停止运动。”我们现在知道，滚动的球之所以停下来，并不是由于没有力持续推动它，而是由于与它接触的表面的摩擦力和空气阻力使它逐渐减慢。如果表面变得越来越光滑和越来越平坦，并且空气也被抽走，球就会滚得越来越远。在极限的情况下，它根本就不会停下来。伽利略得出结论：“……水平运动的物体如果没有外力削弱、减慢或阻止的话，将一直保持匀速运动。”

由伽利略发现的惯性运动定律，是力学相对性原理的基础。例如，这个原理指出，不管船是处于静止状态，还是匀速航行在平静的海面上，船舱里的所有活动都会是一样的。你可以散步，可以丢落物体，苍蝇可以在空气中自由地飞来飞去，轮船的运动对它毫无影响。下面是萨尔维亚蒂（Salviati）说的一些话，他是伽利略的著作《关于两种世界体系的对话——托勒密和哥白尼》(*Dialogue Concerning the Two Chief World Systems - Ptolemaic and Copernican*)中的主人公之一：

将你和你的朋友锁在一艘大轮船甲板下的船舱里，并随身携带着苍蝇、蝴蝶和其他能飞行的小动物；带着一个大鱼缸，里面有鱼在游动；悬挂一个水瓶，让水从瓶中一滴一滴地滴下，落在下方的广口容器中。只要船不运动，仔细地观





察昆虫在房间里如何以相同的速度飞向房间的各个方向；鱼儿自由自在地游动，没有特别偏爱于朝某个方向；水滴落入水瓶下方的容器中；如果你向你的朋友扔东西，不管是朝那个方向扔，只要两人间的距离是相同的，扔的效果就会是一样的；如果你用双脚起跳，不管朝那个方向跳，跳的距离都相同。仔细地观察了这些现象后（即使你从未怀疑过，船静止时的结果都是如此），让船员以任意的速度开动轮船，但应让船的运动保持匀速并且不受任何干扰。在运动的船中，你不会发现你所观察的现象有任何变化，也不能从这些活动中判断出船是运动的还是静止的。跳起来后，也会和从前跳得一样远，朝船头跳时不会比朝船尾跳的距离短些，尽管你跳在空中时船已向前移动了一段距离（在后面的情形下，船的运动方向是相反的）。如果你的朋友离船头近一些，朝你的朋友扔东西也不需要花费更大的力气。水滴会和从前一样落入下方的容器中，而不会偏向船尾的方向，尽管水滴在空中滴落时船已向前移动了几英尺的距离。鱼儿在鱼缸中的各个方向上都还是游动自如，不管我们将鱼饵放在哪个角落，它都可以捕食。最后，苍蝇和蝴蝶并不是固定于朝某个方向飞而是四处飞舞，你不会发现它们聚集在船尾，好像追赶船累了似的，它们并没有因为在空中已悬浮了相当长的时间，而需要去追赶船的行程。

这段精彩的描述，是最早的系统阐述运动相对性原理的描述之一。要指出的是，伽利略的著作不仅是人类思想珍品的集大成者，同时也是杰出的文学作品。意大利学校的孩子们，最先学习的就是伽利略的作品，将它作为他们国家的文学遗产。

在船舱里进行的物理试验，不能断定船是运动的还是静




止的。我在前面已经说过，在一个到处都是汽车、火车和空中旅行的时代里，我们对此现象早已习以为常了。出于本能，我们清楚这句话“茶杯是静止的”是没有意义的，除非我们指定它相对于另一个目标而言是静止的。在飞行的飞机上，茶杯可能不会相对于我们而运动，但是会与我们一道以很高的速度相对于地球而运动。当以很高的速度相对于地球而旅行时，我们可以悠闲地在飞机的过道上漫步。至于某种运动，物体的静止状态和它的速度都是相对的；只有我们指定了“实验室”处于何种相对状态时，这些说法才是有意义的。

伽利略做出的这个发现——即实验结果都和往常一样，尽管观察实验的“实验室”此时在匀速运动——是反对地球在宇宙中是静止的这个信念的科学论据。继哥白尼之后，伽利略说道：“让我们来建立起这个概念吧，不管地球做什么样的运动，地球上的居民都不会注意到它，只要他们的判断是基于地球上的事物而做出的。”

伽利略坚信哥白尼的学说是正确的，并且成了它的热情宣传者。伽利略在物理学和天文学上的发现，使他成为了欧洲最著名的科学家。在早期，天主教小心翼翼地试图以甜言蜜语说服伽利略改变观点，使他认为哥白尼的模型只是为了计算方便而做的假设[就像奥山德（Osiander）在为哥白尼的论文所做的序言中声称的那样]。红衣主教贝劳米诺（Bellormino）致信法卡里尼（Facarini）神父，后者是哥白尼关于世界的理论的支持者。信中写道：

就我看来，如果您想和假设的论点保持一致并且不再一意孤行的话，您和伽利略先生应当采取一种明智和谨慎的姿态。我一直相信，哥白尼的言论和他的思想与这个态度是相符的。的确，如果一个人说，假定地球是运动的而太阳是静





止的，比假定地球处于中心位置能更好地符合所观察的一切现象，那么这个说法是个很好的阐述，没有充满陷阱，并且也是数学所需要的。然而，如果有人开始说，太阳实际上是世界的中心，它只是自转而不是从东方运动到西方，而将地球置于第三个天体（第三个最接近于太阳）的位置，并且是高速地围绕着太阳旋转，这就是很危险的事情了，这不仅是由于它激怒了所有的哲学家和神学家，而且还由于它损害了宗教信仰，因为它暗示着《圣经》在说谎。

苏联物理学家维塔利·京茨堡评论道，善意地允许对现象做“弥补性”的解释和允许进行数学研究，但却隐瞒真相，这引起了伽利略的愤怒。伽利略在给洛陶林吉奥（Lotharingia）公爵夫人的信中写道：

神学家们不应宣称他们拥有这样的权力，即对那些并不属于他们职责范围内的专业做出宣判，因为，你不能将对于自然现象的观点强加给自然科学家……我们鼓吹新的观点，不是让人们的思想混乱而是启发他们；不是破坏科学而是给其建立一个完好的基础。然而，我们的反对者认为每一件他们不能驳斥的事情都是谎言和异教。这些外行们用伪善的宗教热情作盾牌，为了达到他们自己的目的，用《圣经》作为工具，使其蒙受耻辱……要天文学家们想方设法来自圆其说，以反对自己的观察和结论，好像这些观察和结论都是纯粹的欺骗和诡辩，这是根本就不可能的；这就好比是命令人们不要看到他们所看到的东西，不要理解他们所明白的东西，并从他们的研究中得出与他们心知肚明的完全相反的结论。

京茨堡补充说，这些话听起来就像现代的人所写的。

我要强调的是，对于在“实验室”内部的人们和物体而言，并不是“实验室”的所有运动都是觉察不到的，远非如





此。例如，如果汽车突然加速或者做急转弯，我们就会很明显地感觉到。只有沿着直线做匀速运动时才不可察觉。在没有任何力的作用下，或者当所有的“推力”和“阻力”以及所有使物体偏离直线轨迹的力都恰好彼此达到平衡时，“实验室”或物体由惯性而作的运动叫做惯性运动，而这样的“实验室”叫做“惯性实验室”。

当然，在自然界中的“实验室”，只能是在或多或少程度上是近似惯性的。在微波荡漾的水面上轻微起伏前进的轮船，显然不是“理想的惯性实验室”，轮船的这个摆动是可以测得到的。但是，加速度越小、转弯越平缓，“实验室”就越接近于惯性的。地球的表面也是个近似的惯性实验室。例如，我们知道它绕其地轴做圆周运动。

专门设计的实验可以、也确实检测到了这一点。读者或许见到过，或者至少听说过傅科摆。这个钟摆是从很高建筑物的天花板上沿着一根长线悬挂的重物（球）。当重物摇摆时，它趋向于形成一个摆动平面，在此平面内，它做着相对于星体的运动。地球的表面及其上的建筑物每日都在旋转着，我们发现钟摆的摆动方向，相对于建筑物的墙壁逐渐地发生变化。这样的实验是在伽利略时代之后许多年的1851年，由法国科学家傅科（G. Foucault）第一次完成的，当时他将一个钟摆悬挂在万神殿的圆顶上。

不过我们还是回到17世纪。正确的认识通过与人们头脑中根深蒂固的教条，与自然界为人类在寻求真理的过程中设置的巨大困难，最后还要与涉及到众多人利益的社会矛盾进行激烈的斗争，来清除它前进道路上的障碍。

在1633年的那场使伽利略成为“宗教裁判所的受审者”的臭名昭著的审讯之后的一段时间，他出版了《关于两个新




科学的讨论和数学证明》(*Discussions and Mathematical Proofs Concerning Two New Sciences*)……在这本介绍了力学基础的书中，他写道："本文仅是为这两个应用极广的新科学打开了方便之门；将来它们会由于不断探究而得到无可限量的扩展……其中一个科学是关于永恒主题的，另一个在自然界中具有至高无上的意义。"

在伽利略死后 1 年，另一个天才牛顿（1642~1727）诞生了。他完成了经典物理学的创立，并且是关于时间的第一个物理学理论（在某种程度上可以这么说）。

与古代哲学家的生活相反，我们对牛顿的生活了解要清楚得多。乍一看来，似乎没有什么可写的事件。我们用鲍里斯·库兹涅佐夫的话作为牛顿故事的开始："没有家庭、没有长途旅行，在他的生命之途中没有大的变化，几乎没有朋友、几乎不存在社会活动。从表面上看来，上面所列举的事实，与这个思想家的创造之路上难以置信的强烈形象形成了鲜明的对比，与认识过程中的真实悲剧形成了鲜明的对比。实际上，这两个方面是高度一致的。"

牛顿出生于英国林肯郡的一个叫做沃尔索普的村庄，一个有着自耕田的农民家庭。在牛顿出生之前几个月，他的父亲就去世了。牛顿小时候进入了离沃尔索普不远的小城镇格兰瑟姆的君主学校，并在 19 岁时进入剑桥大学。即使在这个年纪他还是很死板的，喜欢系统化和次序化。他在英国最著名的学院之一——三一学院开始了贫穷的学生生涯，在 3 年之内毕业了，不久发展成为特别有天分的思想家。在1669年，他成为卢卡斯数学教授。亨利·卢卡斯数学教授职位是在亨利·卢卡斯（Henry Lucas）的捐助之下建立于1663年，至今仍是世界上最著名的和受尊敬的理论物理学教授职位。





在1665~1667年短短的几年间，在其家乡沃尔索普，牛顿提出了对物理学进程有新推动的物理基本思想；很久之后他才将其发表。

在这个时期，一种瘟疫正在英国流行肆虐。牛顿刚刚获得学士学位就离开了剑桥大学，返回沃尔索普，在那度过了大约18个月。他努力工作，试图改善玻璃抛光精度，设计物理仪器，并指导化学实验。与此同时，他也在深深地思考着关于物理学、天文学和数学的主要问题。他的研究成果非常奇妙，说它引起了世人的惊异并不为过。还是在村子里，他用公式阐述了物理学定律，并创建了引力理论。根据这个理论，致使物体掉落到地面上的重力，与维持宇宙物体在其轨道上的力是同一种力，这个力的大小，与距离的平方成反比。

在接近于生命终点的时候，牛顿回忆起他曾经注意到一个苹果从树枝上掉落，这引起了他对物体掉落到地面上的原因的思索。答案似乎是众所周知的：物体的重力。但是，什么是重力呢？牛顿得出结论说，重力就是地球的吸引力。同样的力必定从地球进一步延伸到月球，使得月球维持绕其轨道运动，而不允许它由于惯性而飞到宇宙空间中去。

很久以后，牛顿将万有引力定律的精确描述发表于他的著名论文《自然哲学的数学原理》(*Philosophae Naturalis Mathematica*)(1686)，它常被简称为《原理》(*Principia*)。(事实上，牛顿总是要过许久才公布他的研究成果，虽然他对于先前的争论毫不关心。)他为什么犹豫不决呢？看来主要的原因似乎是他对于获取知识方面与常人迥然不同的态度，以及认为在那个阶段研究成果能够作为建立理论而获认可的观念。

如果我们能够简短地描述他在这方面的态度，那就是：努力获取自然知识的全部规律，努力去获得精确地符合实验



数据、并且能由逻辑和数学进行恰当描述的知识，而这些恰恰是目前科学对我们的要求。

就像许多其他的伟大思想一样，万有引力理论也有其先驱者。例如，乔万尼·博雷利（Giovanni Borelli）得出结论说，宇宙中的所有物体彼此之间是相互吸引的；他也推测行星绕着太阳旋转，其引力与由惠更斯（Huygens）发现的离心力是平衡的。另一个和牛顿同时代的人罗伯特·胡克（Robert Hooke）得出结论说，物体之间的引力和物体之间距离的平方成反比。然而我们还是相信，正是牛顿创建了万有引力定律。

我们确实对其他研究者的远见卓识致以最崇高的敬意，但是我们认为牛顿是真正的发现者。为什么呢？因为除他以外没有任何人给出了建立理论的证明。从抽象的论据中，牛顿在数学计算、物理实验和对天文观测的解释等几个方面做出了努力。

那是新物理学的开始。

稍后我们将讨论牛顿是怎样第一次描述了时间最重要的属性的，后者正是本书的主题。此时我想说的是，万有引力定律不仅对于天体力学（描述控制宇宙中所有天体运动的力）的发展，而且对于理解时间是何类现象，都是非常重要的。事实上，在经过了相当长的时间——大约300年以后、在本世纪中*，当证明了引力能够影响时间流逝的速度以后，这一点就变得很清楚了。不过，我们还是再次回到17世纪。

在1665~1667年间住在沃尔索普的时候，牛顿不仅致力于万有引力问题的研究，而且还从事着力学、光学和数学的

---

* 本书中“本世纪”指的是20世纪。若无特殊说明，全书同——译者注。





研究，从中取得了重要的发现。

在沃尔索普之后的时期，一直到17世纪80年代，他对光学以及化学实验最感兴趣。在17世纪80年代中期，他完成并出版了一生中最主要的成就：著名的《原理》。这篇论文总结了他在沃尔索普时期的思想成果，以及那个时期构想的、该思想的后继发展结果。

从这个主要成果的获得到成果的发表，相距了大约20年！我已经提到过，牛顿从来不急于发表成果，而总是努力使所有结论尽可能地准确、逻辑上尽可能地完美。下面发生的事件偶然促成了牛顿撰写《原理》。

在17世纪80年代初的某个时候，三位著名的科学家聚在伦敦的一家咖啡馆，热切地讨论着行星围绕太阳运动的问题。他们是埃德蒙·哈雷（Edmund Halley）、罗伯特·胡克以及克里斯托弗·雷恩（Christopher Wren）。那时人们从开普勒定律中已经了解到，行星沿椭圆轨道运动。吸引三位科学家的问题是，假定太阳的引力与它和行星间的距离成反比，是否有可能证明行星的轨道确实是椭圆。他们不知道问题的答案。雷恩建议，他们设置一个象征性的奖金——奖励一本价值40先令的书给找到答案的人。哈雷在1684年访问剑桥时，向牛顿描述了他们在咖啡馆的讨论，牛顿说他知道这个答案已经有相当长的时间了！在此之后，哈雷成功地说服牛顿必须写一本书来介绍这个证明。这就是《原理》一书诞生的过程，它由哈雷出资编辑并出版。我们从牛顿的秘书——碰巧和他的名字相同——的回忆录中得知，牛顿在创作《原理》这段时期里的生活是十分紧张的。几乎没有看到过他休息、骑马、玩九柱戏、款待客人，每天至多睡5个小时，想方设法花尽可能少的时间吃饭。他在这个方面是幸运



的：课程花费了他很少的时间，因为他的课是如此的寡然无味，以至于没有学生来听课。

我现在还记得这个故事坚信，在任何活跃领域内的成功，都主要（高达95%）是由于一个人艰苦工作的结果，这给我留下了非常深刻的印象。自从那时起，我对此说法深信不疑，也从我朋友的经历中找到大量的事实证实它，并试图说服我的学生和同事，每一个人都需要遵循这一个原则。“要工作好就要去努力工作”——我相信，这句话是牛顿说的（或者是另一位天才说的）。

《原理》一书出版后，牛顿的生活方式开始悄然变化。在科学上他继续辛勤工作并收获颇丰，但其他领域也变得日渐重要，社会活动和政治活动占据了他大量的时间。有关牛顿生活轶事流传较广的是，作为一名下院议员，他仅做了一次发言，要求关闭一扇造成穿堂风的窗子。这则消息似乎是说明牛顿完全沉浸于他的研究而忽略了生活的其他方面。这是不大可能的。我倾向于认为，对于生活中非科学的其他方面，他也是十分认真的。

一直到他生命的结束（他活到了84岁），牛顿也没有什么改变。他身材矮小、稍显壮实，常常是孤僻、沉默的；他外表普通，是一个十分典型的英国人。确实，他是个很不容易相处的人。

我必须提到牛顿个性的另一个方面：他笃信宗教。在我的国家——前苏联，通常对这个事实闭口不提，尤其是在青少年的读物中，或者至多轻描淡写地一笔带过。披露这一点可能对于“无神论宣传”是有害的，尽管如此，在我看来，隐瞒或歪曲一个伟大人物个性的某些特点是极为有害的，它不能以任何“善意的”动机作为借口。

是的，牛顿相信上帝，这在他那个时代是很正常的。西方的读者肯定会认为牛顿的宗教信仰没有什么可奇怪的。我认识西方许多杰出的物理学家，他们也是信教者。不过，这个话题在此就不讨论了。在此我愿意提一下爱因斯坦的观点，他的态度似乎十分接近于当代许多真正伟大思想家的观点。他写道：

一个人身上所具有的最伟大、最深奥的情感，是对神秘事物的感觉。它的根源在于宗教信仰以及内心对艺术和科学的倾向。一个从来没有经历过这些感觉的人，对我来说似乎——如果不是死人，至少也是盲人。这种洞察力是无法用我们的语言来表达的，它潜伏在我们的下意识里，它的美丽和完美，只能以微弱的间接方式传达给我们——这就是宗教的感觉。在这种意义上，我的确是信仰宗教的。

My Glaubensbekenntnis (1932),
F. Herneck, *Albert Einstein*, Berlin, 1967, p. 254

我们回到牛顿的话题上。他一直对神学和宗教的历史进行研究，相信是上帝给了天体“原始推动”后，宇宙中的所有运动都严格地遵循着精确的物理定律。不过，如果“预料有不合常理之事”，上帝也时不时要去过问和修正高贵的“宇宙时钟”。在牛顿的世界图画中，每当他无法对某一现象做出科学解释时，就乞求于上帝。在企图解释太阳系的起源以及行星的初始速度的起源时，就是这种情况。在试图解释人类历史的起源时，也发生了同样的事情。

现在我们谈谈牛顿对理解时间和空间的贡献。

我们先从空间谈起。牛顿认为宇宙中发生的所有事情，都是在空旷的空间中发生的，它控制着所有的物体和进程。事实上，这个空间可以看做是一个巨大的实验室，它的墙壁、



天花板和地板都在无穷远处。牛顿将它看做是“绝对的”，将无限的太空看做是“绝对空间”。他在《原理》中写道：“绝对空间由于自然本性，在不与外部事物发生关系的情况下，总是保持不变和不能移动。”

在牛顿的物理学中，时间是一个持续不断的水流，包含着所有进程，无一例外。它就是“时间之河”，其水流不受任何事物的影响：

绝对的、真实的和数学的时间，由于它的自然本性，不受外界影响而稳定地流逝，换种说法是持续不断地流逝。

牛顿的《自然哲学的数学原理》

牛顿描绘的世界是如此清楚而明显：天体的运动在时间和空旷无垠的空间中发生，宇宙中的进程可能是十分复杂的、千变万化的、混乱不堪的，但是，不管它们多么复杂，并不影响这个永恒的舞台——空间以及恒定不变的时间的流逝。牛顿假定无论是时间还是空间都不受影响，因此，属性是“绝对的”。他强调，时间流逝的不变性是以下述方式进行的：

所有的运动可以被加速和阻止，但是时间，或者是绝对时间的进程是倾向于无变化的。事物存在的持续时间是不变的，而不管运动是快速的、缓慢的还是根本就不动。

爱因斯坦对牛顿的概念做了一个非常生动的描绘：“空间和时间独立存在的思想可以这么来表达：如果物质消失了，只有空间和时间还会继续存在（它们是物理现象发生的一种舞台）。”

至此，读者可能认为所有这一切都是这么明显、简单、明了，任何一个人肯定都会以这种方式来解释空间和时间。

这个说法是有道理的，但是，这只是因为这些概念来自于对地球上我们周围物体运动的观察，来自于对巨大的天体




运动的观察，来自于大量的物理实验。正因为牛顿物理学概括了物体运动的全部科学经验，而且这种积累的经验，在我们读书的时候就掌握了，因此，我们易于接受牛顿的空间和时间概念，对我们而言就像是“与生俱来”的。

我们不应忘记，任何实验的规模、持续时间等方面都是有限的。在牛顿时代以及后来很长一段时间内，所有的实验和观察中，所涉及到的物体，以今天的知识水平来看，它们移动得相当缓慢。在牛顿时代知道的引力场，以我们的观点来看，只能说是很弱的；最后，那时所知的各个过程的能量，与现在物理学家们所打交道的相比，也只能算是很低的。在这种框架下，牛顿所说的关于空间和时间的性质以及物质的运动，的确是不受空间和时间的影响的。但是我们将会看到，空间和时间对于发生在它们内部的事件“漠不关心”的这种情况，只有在上述的约束条件下才能发生。

不过，这是后面将要讨论的话题。此刻我要强调的是，牛顿的理论对于时间的特殊性质以及时间结构的问题，没有做出解释。时间是一条无头无尾、始终如一的河流，没有“源头”，也没有“潮起潮落”，所有的事件都在时间河流的“承载”中流逝。时间除了均匀地流逝的属性之外，没有其他属性。“绝对时间”在整个宇宙中都是相同的。

在牛顿的世界里，“从前”、“现在”和“以后”三个词的含义，对于宇宙中的任何事件都是很清楚的，不管事件是发生在同一个地点还是相距亿万千米之遥。如果所有的事件都用相同的绝对时间来计时，那么每一个人都会明白。比如说，“此刻在银河系中的三角星座里，一个超新星发生了爆炸”这句话，尽管这个星系距离我们非常遥远，而且当我们看到发生爆炸的光线最终到达我们的时候，已是数百万年以后的事



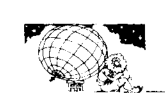
了，但是这种理解并不妨碍我们想象爆炸的确是“现在”、在宇宙的绝对时间上的这一刻发生的。

时间的绝对同时性以及时间对整个宇宙都是共同的，这两点都是可能的。因为根据牛顿理论，存在着可以从一点“立即”传送到另一点的信号，也就是说，它们是以无限大的速度传播的。引力就是这种信号的一个例子。如果引力质量间的相互位置发生了变化，这些质量之间的引力就会通过无限空间立即发生变化。

在宇宙中，如果质量移到了某处，有可能这个事件会“通知”到任意远的距离。在这种情况下，“现在”的概念是相当清楚的。尽管从遥远的、受引力作用的恒星上产生的引力非常微弱而且极其难以测量，但是，这可以认为是由于我们技术上的问题。这样的技术障碍不应否定进行即时判断的可能性——从原理上说——质量已经移到很远的地方去了。

爱因斯坦对于牛顿对世界清楚而简单的描述极感兴趣，他称牛顿时代为“科学的快乐童年”。他写道，对于牛顿而言，自然是一本打开的、轻松阅读的书。牛顿用来详细说明他的实验数据的概念，似乎自然地遵从着人类的经验，遵从着牛顿以大量细节描述过的、像一件精致的玩具般有条理的精巧实验。

事实上，这幅阳光灿烂的画面，确实多多少少有些“阴云”明显地使牛顿感到不安。这就是没有力学实验能够测量得出，在空旷的空间中一个物体是在运动还是处于静止。的确，我们还记得在轮船中进行的实验过程都是一样的，不管船是静止的还是运动的。绝对空间就在那里，但是相对于它的线性运动却测量不出，这不是真的很奇怪吗？这是理论“丑陋”或不够完美的一面。





随着我们的故事展开，这一点将会很清楚：驱散“丑陋的”乌云的努力，在几个世纪之后导致了物理学上十分重要的发现。

应当指出的是，牛顿对于空间和时间的观点，并不是牛顿时代惟一的观点。尤为有趣的是德国著名的哲学家格特弗雷德·威廉·冯·莱布尼茨（Gottfried Wilhelm von Leibnitz）的观点，他是与牛顿同时代的人。莱布尼茨不仅研究哲学，还研究物理学、数学、历史、自然法则、历史法学、神学和外交。他的这些不平行的兴趣领域，同时也是他科学成果互为补偿的一个原因。他发现了种种新的方法，提倡新奇的思路，但是很少将这些路完全走通，很少完成对它们的逻辑和细节描述。他试图将他那个时代的许多不同观念融为一体，并解决所有的争论和抵触。莱布尼茨梦想着科学与宗教、天主教与基督教的和平一致；他试图使科学国际化，甚至研究出了一种通用的世界语言。由于他的发起，柏林科学学会在1700年成立了，他成为了首届主席。他做了许多工作，在维也纳和德累斯顿帮助建立学会；他会见了俄国沙皇彼得大帝，与他讨论了在俄罗斯播撒科学研究的种子以及组织圣彼得堡科学学会所需的步骤。

这位伟大的科学家拒绝牛顿的绝对空间观点。他主张空间只不过是物体和现象存在有序性的一种表现方式，在自然界中没有可脱离物理实体的绝对空间。莱布尼茨的结论是，空间是相对的。同样，他也拒绝接受绝对时间——它不考虑物理属性而流逝；他认为，世界可以描述为由一系列相继发生的现象，这就是人们所称的时间。

一次，在与波茨坦中央天体物理学研究所的德国同事合作的时候，我与研究所的代理所长莱布斯彻（D. Libscher）



教授进行了长谈，我们根据黑洞的发现及其奇妙的特点，讨论了时间的一般属性。莱布斯彻教授将我的注意力引到了这一点：3个世纪之前莱布尼茨的预言与我们今天对时间的理解惊人地接近。似乎给人留下深刻印象的是，莱布尼茨坚持认为，根本不存在牛顿提出的绝对时间这样的事情。莱布尼茨提出了关于时间、空间和运动相对性的一系列理论。结果，莱布斯彻和我写了一篇关于黑洞里的时间的文章，发表于苏联杂志《自然》(1985年第4期)。对于那些想更系统地了解该内容的读者，我向他们推荐这篇文章。

但是，在提出了激起人们好奇心的争论之后，莱布尼茨没能再前进一步，当时，他无法构造出建立在他的论点基础之上的具体的物理理论。相反，牛顿的观点来自于他所提出的严密的物理理论。这个理论是力学的基础，而力学是即将到来的工业革命的科学平台。牛顿的观点获胜了。

牛顿的物理学经受了时间的检验。我们今天所知的物理学已经突破了牛顿时代的限制，我们对于宇宙的了解，比起那个时代的要深远得多。我们对于空间和时间的想象，已变得更为深入和宽广。然而，正如我们已经提到过的，今天的科学并没有将牛顿所完成的工作搁置在一边，空间和时间的属性以及根据他的观察所建立的物理运动定律将继续有效。

但是，我们现在可以接触那些牛顿接触不到的现象；它们为我们展现了自然界以前不为人知的规律以及空间和时间始料未及的属性。

为总结本章内容，有必要提及时间的另一个重要属性，它是由哲学家约翰·洛克（John Locke）最先强调的。他与牛顿很熟，并深受新物理学的影响。这个属性就是，时间的数学想象是一条直线，与具有三维的空间（这三维是长度、宽





度和高度）不同的是，时间是一维的，是由一个接着一个发生的事件序列形成的。

将时间想象为一条数学直线，后来证明对于日后关于世界图卷的展开是十分重要的。

# 第三章

# 光







我曾经认为在牛顿时代，人们只了解低速物体的运动形式，现在看来这一观点并不完全正确。当然，如果只涉及宏观物体的话，这一观点还是正确的。然而，很久很久以前，人类就已经知道一种以惊人速度传播的物理过程，这就是光。那么什么是光呢？

在古希腊，人们认为光是由炽热物体向外辐射的微小粒子所组成，亚里士多德和牛顿都是这一观点的支持者。亚里士多德认为光的传播速度无限高，这一观点在17世纪以前一直很流行。约翰尼斯·开普勒（Johannes Kepler）、雷涅·笛卡儿（Rene Descartes）等一些著名科学家都支持这一观点。1688年伽利略第一个试图用实验的方法测定光的速度。他在两座相距不到1英里（约合1.60934千米）的山峰上放置了两把火把，起先两把火把都是被挡住的，彼此看不见对方。接着先把一个火把的遮蔽物打开，另一个山峰上的人看到火光后也立即把他的火把上的遮蔽物打开，第一个人测量从他打开火把遮蔽物到看到对面山峰上火光所需的时间。这段时间就是光在两座山峰间传播所用的时间。

然而，在这个实验中没有发现时间延迟。伽利略由此得出结论：要么光是即时传播，要么就是以极高的速度传播。很明显，伽利略用他当时的仪器设备不可能测量这样快的运动。



1676年，丹麦天文学家奥勒·勒默尔（Ole Roemer，1644～1710）第一次对光速进行了真正意义上的测量。下面就是整个事件的经过。17世纪中叶，意大利天文学家吉德万尼·卡西尼（Gidvanni Cassini），以他利用大型望远镜对行星进行精确观察和绘制了伽利略发现的木星卫星的运动图而闻名于世。他进一步研究发现：最靠近木星的一颗卫星木卫一*，进入木星阴影时间的实际观测值与计算值并不总是互相吻合。在地球围绕太阳旋转的过程中，运动到距离木星最远的地方时，木卫一进入木星阴影的时间和计算值相比晚了22分钟。但当地球和木星相距最近时，计算值和观察值则能完全匹配。

1676年，勒默尔得知这一观察结果，他认为这一误差是因为光穿越地球轨道直径需要22分钟。他第一次计算出了光的大概速度为214 000千米／秒。后来人们发现勒默尔计算的光速比实际光速约小三分之一。

从此，人们第一次认识到光不是即时传播的，光的速度虽然非常之快，但毕竟是有限的。直到19世纪中叶，光速才能够由地面实验直接测量。从此，光速测量不再依靠天文观测。在伽利略实验原理的基础上，法国科学家斐索（Fizeau）、傅科和卡诺（Carnot）应用现代仪器设备进行光速测量。他们不断改进实验设备和实验方法，经过努力，对光速的测量越来越精确，最后的结论是光速接近300 000千米／秒。19世纪70年代末期，对光速进行精确测量的问题引起了杰出的美国实验物理学家艾伯特·迈克耳孙

* 木星四颗最明亮的卫星之一，距木星的距离排位第九。它首先为伽利略所发现——译者注。





(Albert Michelson, 1852~1931)的注意。他通过实验测定的光速为299 910千米/秒。

迈克耳孙为精确测定光速贡献了毕生的精力。人类越来越清醒地认识到，光速在统治这个世界的自然法则中起着举足轻重的作用。1929年，迈克耳孙在他的实验室中最后进行了一系列测定光速的实验。在他生命的最后日子里，迈克耳孙，这位世界著名的物理学家和诺贝尔奖得主不耐烦地等待着实验结果。他女儿回忆到，在1931年5月的那段日子里：

5月7日，皮斯(Pease，迈克耳孙的助手)来到迈克耳孙的面前，手中拿着最新得到的实验数据。新的光速值为299 774千米/秒。迈克耳孙的脸上浮现出孩子般的快乐。他知道自己剩余的日子不多了，立刻叫皮斯找一把椅子坐下，准备好笔记本，记录他的口授："在近似真空的条件下，进行光速测量。"说完这句话时，他已经筋疲力尽了。在口授完第一个段落后，他安详地进入了沉睡……

5月9日清晨，迈克耳孙与世长辞。

Dorothy Michelson Livington,
*The Master of Light*,
1973 (Charles Scribner's Sons)

迈克耳孙只是把研究宇宙，获取宇宙奥秘作为个人终身奋斗目标的众多科学家中的一员。由于这些科学家的不懈努力，才使我们广泛地破解了自然界的奥秘。现在利用原子钟测量时间，得到的最新光速值为299 792.458千米/秒，这一测定值的最大误差不超过0.2米/秒。

迈克耳孙这个名字，还能使人想起那些为相对论的发展做出重要贡献的实验。相对论是爱因斯坦在本世纪初创立的理论，这一理论使我们能从一个全新的角度来理解时间和空



间的属性。

在描述迈克耳孙的实验之前，让我们回到一个世纪以前，当时的科学家正在讨论什么是光的本质。

1648年，捷克科学家扬·马尔齐（Jan Marzi）就第一个提出了光的本质是一种机械波。但直至30年后，关于光的完整理论才由荷兰科学家克里斯蒂安·惠更斯创立。这套理论主要用来解释光受到平面、曲面或其他物体反射而产生的各种现象，以及光的散射、偏振这些不能用微粒子理论解释，或只有在一定的人为假设的前提下，才能为微粒子理论解释的现象。科学家不得不思考，如果光是一种机械波，那么光波必须经过一定的介质才能够传播。但这种介质是什么呢？当时占统治地位的观点认为光波传播的介质是以太。以太是一种理想的、任何物体都能穿过的、充满宇宙各个角落的介质。

19世纪末，认为光波是通过充满宇宙的以太传播的观点得到了日益广泛地认同。

以太所必须具有的属性是令人难以置信的。首先，这种物质要具有比普通物质大得多的弹性，只有这样，光振动才能以我们观测到的光速在其中传播。同时，这种物质又要绝对没有粘性，才能使很重的物体在穿越它时不受到任何阻力。

然而，所有这些棘手的问题都被轻易地化解了。以太根本就不是一种“普通的物质”。著名的英国科学家托马斯·扬（Thomas Young）在19世纪早期这样写道：除了固态、液态和气态三种物质存在形式外，还存在半物质形式，电和磁就是以这种形式存在。除此之外，还有一种物质就是以太。

今天的读者也许会对托马斯·扬感兴趣，托马斯·扬是一位很有天赋的人，是光的波动理论的创始人之一。他2岁




时就能够流利地朗读。2年后，就能背诵大量难记的诗歌。8岁时，已经能够制造物理仪器。很快，他就掌握了各种不同的算法和希腊语、阿拉伯语和拉丁语三种语言。他既是一名医生，又是一名物理学家和天文学家。在他生命的最后阶段，他还编纂了一本埃及字典。

扬做了很多实验证明光的本质是一种波，他还对所做的实验进行了大量的解释。扬证明光的振动方式不同于声波的振动方式。声波沿着声音传播的方向振动，而光波是沿着垂直于光传播的方向振动，就像水面上水波中的液滴沿着垂直于水波传播方向振动一样。

通过扬和其他科学家的工作，光的本质毫无疑问地被认为是一种波。关于世界中充满以太的理论被认为是19世纪中最伟大的成就之一，以太这种物质也被认为是绝对存在的。

本世纪初，布罗克豪斯(Brokhaus)和埃夫龙(Ephron)为苏联最好和最流行的百科全书撰写了“以太”这个条目，以确信的口吻写道：“一旦实验证明光的波动理论的有效性，那么以太作为其能量载体，并以一种不为我们所熟悉的形式而存在的事实也将得到证明，那时以太的存在将不再是一种假说。”几句话后，作者又遗憾地评论道：“但是，现在我们还是时常能遇到和以太存在相矛盾的现象。”

由此我们可以认为：绝大多数科学家坚信在整个空间之中存在着一种介质，也就意味着牛顿的“真空”并不是空的，而是充满了以太。很自然地，人们就想设法测定地球相对于以太的运动速度，进而测定地球相对于真空的速度。如果这是可能的话，牛顿的真空将不再是一个纯粹的抽象概念，真空将成为被研究的一种特定物质。

艾伯特·迈克耳孙在19世纪80年代，开始对以太感兴





趣。他为此设计了一个极好的高精度的仪器，也就是我们现在所说的迈克耳孙干涉仪。人们希望，通过相应的计算，这个仪器可以解决以太测量问题。但是，怎样才能测量到地球和以太之间的相对速度呢？事实上，由于吹向地球的以太风能自由地吹过所有物体，不像普通的风那样会在物体的表面产生压力，以太风在物体表面不产生任何压力。科学家设想，假想中的地球和以太之间的相对运动可以通过下面的途径来测量。

在实验室中，沿着地球相对以太运动的方向发射一组光脉冲信号，在离光源一定距离的地方放置一面镜子，把这组光信号反射回光源，这组光信号假设为A。然后向和刚才方向相差一定角度的方向发射另一组光脉冲信号，再在离光源同样距离的地方放置一面镜子，把光脉冲信号反射回光源，这组光信号假设为B。如果地球和以太是相对静止的，那么信号A和B来回于光源和镜子的时间应该是相同的。如果地球相对以太是运动的，那么可以很容易地计算出信号A和信号B所经历的时间会有一些不同，信号B往返的时间要比信号A略少。如果已知实验装置的尺寸和两信号的时间差，就可以直接计算出地球相对于以太风的运动速度。

在迈克耳孙的仪器里，光信号需要往返的距离是22米，如果我们假设以太风的运动速度和地球围绕太阳轨道的运动速度相同的话，那么信号A比信号B多用时间为一亿分之三秒。

这套仪器是这样的完美和精确，精确到可以测量到比一亿分之一秒还要小100倍的时间差。

当然，地球在以太中不仅沿太阳轨道运动还和太阳系一起作为一个整体在运动。因此，以太风的方向是事先不知道





的，实验人员把这一因素也同时考虑在内。他们使整个实验装置漂浮在水银上，并慢慢地旋转，最后仍不能排除在测量时，地球的轨道运动正好被太阳在相反方向的运动所补偿这种巧合。为了排除这种巧合，实验每三个月就要重复一遍，因为三个月中，太阳沿轨道运行的方向已发生了显著的改变。

在1887年，迈克耳孙和莫雷（Morley）发表了一系列实验得到的数据，通过实验他们没有发现任何以太。当时迈克耳孙给英国著名物理学家约翰·瑞利（John Rayleigh）写了一封信，信中说他已经完成了一系列的测定地球和以太风之间相对运动的实验，他的实验结果很明显是否定的。这一结果令每个人都感到迷惑不解，迈克耳孙为此感到非常失望。很多人试图寻找迈克耳孙实验中的不足之处或是重新建立关于以太世界的理论，还做了很多别的实验，其中包括在山里探测以太风的实验，因为根据假设，在山里以太风的作用会更加明显，但所有这些都以失败告终。这次实验的结果最终成为迈克耳孙一生中最伟大的成就。实验的否定结果意味着：以太不仅对沉重物体的运动毫无影响（在这次实验之前，这一点就已经明确了），而且对光也没有影响，从而说明以太这种物质完全出于想象，实际上并不存在。

然而，迈克耳孙—莫雷实验不仅给予以太理论致命的一击，它还有着更重要的意义。它证明了地球的运动对光速没有影响，也就是说光速在各种条件下都保持恒定。值得一提的是，这一结论和光的本质是相互独立的。

可是，如果光不是在一种未知的、任何物体都能自由穿越的介质——以太中的振动，那么光是什么？

在19世纪末，科学家们回答了这个问题。法拉第（Michael Faraday）、麦克斯韦（James Clerk Maxwell）和赫兹



(Heinrich Rudolph Hertz) 通过实验证明：光是电磁场中的一种振动。光和电磁波一样能在空间传播并不需要介质，也不需要以太。人们清楚地认识到自然界中的任何事物都和“以太”无关。

最终的结论就是，光是一种电磁波，光在空间中的传播不需要以太作为介质。

迈克耳孙—莫雷实验及其他众多的实验揭示了光的许多令人十分吃惊的特性。实验中发现，无论观察者是沿着光线向光源运动还是向相反方向运动，光相对于观察者的速度是不变的！（值得一提的是，随着激光的出现，可以通过实验证明光速和光源的速度是相互独立的，它们之间的相互影响小于0.03mm/s。）在迈克耳孙所处的时代，这一结果是让人难以理解的。日常生活中，当道路上有一辆车以60km/h的速度向前行驶，这时如果观察者的车也以60km/h的速度迎向前一辆车，那么前一辆车相对于观察者的车的行驶速度为120km/h。在这个例子中，速度只是进行了简单的相加。然而，如果用光束来替代其中的一辆车，那么结果将会大不相同。观察者观察到的射向他的光信号的速度并不因为观察者自身的运动而改变。

著名的荷兰物理学家利奥波德·因费尔德（Leopold Infeld）是这样评价迈克耳孙—莫雷实验的：“……实验证明了光速是恒定的……在光的所有传播方向上，速度都完全相同，其值为$c$，也就是光速。光速有它很独特的特点，就是永远恒定，永远不发生变化。”

这一结果对光的机械振动学说来说简直就是一场灾难。

实际上，这一结论对一些我们所熟知的观点来说也是一种沉重的打击。后来人们发现（我将在后面的章节里详细说




明)，迈克耳孙的实验实际上得到这样一个不可避免的结论：当运动的速度十分高时，空间和时间的属性就要发生变化。

1905年爱因斯坦的这一发现，对自然科学的发展带来了一场革命。

# 第四章

# 时间的脚步可以减慢







首先让我们回顾一下20世纪所取得的伟大科学成就。我要说最伟大的发现是本世纪初爱因斯坦创立的相对论。他指出世界上没有“绝对时间”，不存在公正地承载宇宙间所有事件的一致不变的时间之河。

苏联科学院著名院士亚历山德罗夫（A. Alexandrov）这样写道：“爱因斯坦的伟大发现：自然界没有绝对时间，成为了相对论的基石，同时也成为物理学和哲学对空间和时间认知的转折点。”

显然，只有在人们所习惯的低速运动状态和相互作用能量不高的条件下，时间才会显得类似于一条流速恒定的河流。如果所处的状态很不寻常，那么时间的属性会有很大的不同。在后面的章节中，我们将详细讨论这个问题。

爱因斯坦在他1905年创立的相对论中阐述了时间的相对性。人们出版了数量巨大的描写爱因斯坦的书，肯定要比描写其他任何科学家的书都多。有几个因素可以解释这一切。在此，我将引用一些和爱因斯坦有私交的知名科学家们的观点，当然也包括爱因斯坦本人的一些观点，这些也许能在某种程度上帮助我们了解爱因斯坦的个性及他如此受人推崇的原因。

首先也是最重要的，他是一个真正伟大的研究者，他的





发现解释了时间和空间最神秘的属性。神秘的气息不可避免地吸引着那些想要了解世界和我们人类生存意义的人（及那些有足够时间寻找答案的人）。苏联理论物理学家、院士伊戈尔·塔姆（Igor Tamm）这样写道：

爱因斯坦被列宁认为是自然科学领域内最伟大的革命者，可以和牛顿相提并论。不仅因为牛顿和爱因斯坦的发现都是人类在探索自然的道路上所取得的最伟大的成就之一，也是300年来科学发展史上两个最杰出的成就，这两个发现交相呼应，互为补充。我认为牛顿为现代自然科学打下了坚实的基础，而爱因斯坦创造的相对论，则使经典物理学的大厦得以完工。

在苏联时代，列宁的评价被认为是最崇高的赞誉。后来，我进一步了解到，当时一些苏联科学家之所以引用列宁的评价，主要是为了保护相对论在苏联国内的发展不受到那些认为爱因斯坦的创造是“理想的、反科学的”的人的蓄意阻挠。在一段时期内，这些猛烈的抨击确实存在。著名的莫斯科天文物理学家什克洛夫斯基（I. S. Shklovsky）这样写道：“‘上层’警告那些‘纯马克思主义的官僚主义者’说，头儿认为要提高国家的军事实力就不能没有真正的物理学。”这里我要提醒读者注意的是：这段时期正好是苏联大力发展火箭和核武器的时期。

我将在后面重新讨论爱因斯坦的发现。然而，这些伟大的发现并不能充分解释为什么他能够在整个20世纪中享有经久不衰的声誉。而更令我们吃惊的是，虽然各个时期都不断涌现出新的偶像，但都没有影响爱因斯坦在人们心中的地位。

最重要的一点就是爱因斯坦的个性。苏联作家卡韦林（V. Kaverin）这样评价道：“在很多因素之中，我评价一个





人主要是通过两个方面：勇气和友善。当一个人同时具有了这两方面的品质，那么他就是一个真正的人。这两方面的品质将反映出一个人的道德水平。”

我认为这些话对“好人”作了一个深刻的概括。想不用这些看似简单明了的标准来衡量一个人的一生是比较困难的，并不是每个人都能达到这样的标准，有些人甚至连试都没有试过。

爱因斯坦是友善和勇敢的。那些了解他的人说，他的友善来源于他极其清晰的头脑而非一时的感情冲动。爱因斯坦帮助过很多人，他尤其关心那些在希特勒上台后的德国遭到迫害的科学家们的命运。荷兰科学家因费尔德在一本杂志上写道:“在我的一生之中从来没有见过这种不带任何个人情感的友善。虽然只有物理学和自然法则才能激发他的情感，但是他从来没有拒绝过那些他认为确实需要帮助的人的请求，而且他总是给予很有效的帮助。他写过数以千计的推荐信，给数以百计的人提过建议。他还用很多时间和一位疯子进行交谈，因为病人的家属认为只有他才能帮助这个不幸的人。”

难道这不是在我们常见的、残忍的生活方式中，一个杰出的、友善的和仁慈的例子吗？因为爱因斯坦似乎生活在一个由抽象公式构成的世界里，而不是生活在一个所谓的实在世界里。因而，这种单纯的目的变得更有价值。实际上他很少把精力放在日常琐碎的烦恼上，因为这些烦恼不涉及人类最主要的价值。他尽量在日常琐事上花费尽可能少的时间，而把节约下来的时间用在那些真正重要的事情上。他留长发以减少理发的次数，喜欢穿皮茄克，因为这样能尽可能长时间地不用买新衣服，他还决定不穿袜子、睡衣和背带裤。他沉浸在自己的思想中，机械地吃饭，毫不在意吞咽的是什么。



同时他又很有勇气，为捍卫一个正确的解释，他从不动摇，也从来不为他的行为是否会给别人带来麻烦而分神。他在第一次世界大战中就参加了反战游行，他的一生都在为人类的和平与团结而奋斗。因为担心希特勒统治下的德国会发展原子弹，爱因斯坦和其他一些科学家共同在美国发起了原子弹的研究工作。

他甚至在第一颗原子弹爆炸之前就已经意识到核武器会给人类带来的巨大威胁，因而提出对核武库进行国际监督。

下面是爱因斯坦1950年写给因费尔德的一封信中的部分内容。即使是在近50年后的今天来读这封信，仍能体会到言语中流露出的智慧。

你知道，我一直都在为实现真正的和平而不懈努力。我觉得我们现在正处在糟糕的境地，公众日益怀疑我们对手的诚信，所以日益流行的直接监督手段是不会成功的。我现在还没有什么好的建议，只有一些初步的想法。我相信通过这些措施一定能重新树立起人们的信心。一旦没有了这种信心，那么国际安全将无法得到维护。

这难道不令人吃惊吗？他在对手的心中激起了仇恨。那些人甚至创建了一个反爱因斯坦组织，并扬言要谋杀他。

在爱因斯坦写给德国科学家马克斯·玻恩(Max Born)的一封信中，是这样评价他的道德标准的：

一个人不仅应该模范地遵守道德准则，还要敢于在一个我行我素的社会中维持这种道德准则。虽然已取得了各种各样的成就，但我一直都尽量以上述的方式生活。

Naturwissenshafen 42:425 (1955)

马克斯·玻恩总结道："他的思想和情感既纯洁又诚实。我们要向爱因斯坦鞠躬致敬，因为爱因斯坦在这两方面不但

是人们学习的榜样，还是教人上进的老师。”

我曾经提到：爱因斯坦对自己不同寻常的名望几乎漠不关心。我要再次引用因费尔德的一段话。

爱因斯坦对他的名望毫不关心。他也许是一个很特别的人，丝毫不受巨大荣誉的影响。诺贝尔奖章连同其他很多奖章和荣誉证书一起，被锁在他秘书房间里的一个盒子里。我敢打赌，爱因斯坦连诺贝尔奖章是什么样的都不知道。

爱因斯坦是一个伟大的科学家。同时，他又努力保护那些受压迫的人并为人类的进步不懈努力。他的所作所为在他生前为他赢得了世界性的赞誉。在他死后，世界人民更是对他赞许有加。他伟大的人格和他在自然科学中令人惊叹的发现，为他显赫的名望打下了坚实的基础。苏联物理学家，诺贝尔物理学奖得主列夫·朗道（Lev Landau）对爱因斯坦的评价极高。京茨堡生动地复述了列夫·朗道的一段话：

朗道把个人对物理学的贡献分了一下等级，从1级到10级，级数越高表示贡献越小。在本世纪的所有科学家中，只有爱因斯坦是0.5级。玻尔（Bohr）、狄喇克（Dirac）、海森堡（Heisenberg）和其他一些科学家是1级……就像你所看到的……朗道把爱因斯坦排在本世纪所有科学家之首，而这种分法得到了所有人的认同。

以上引用的，无论是杰出物理学家的评论还是熟知爱因斯坦的人的回忆，都对爱因斯坦给予了很高的赞誉。这也许会使读者觉得爱因斯坦是一个理想中的完美的人，一个没有任何缺点的人。爱因斯坦是否是这样一个人呢？

这是不可能的。对于一个生活在现实世界中，真实而非虚构的人来说，这是不可能的。这就是“现实生活的逻辑”。

许多年以前，我听德国同事们说，爱因斯坦的私人生活



并不像人们所想象的那样，甚至一些根据历史文件编写的书中也指出，爱因斯坦具有普通人的典型缺点。现在已经很难分清哪些是真的，哪些是传闻和谣言，哪些是被杜撰出来的。一个伟大的历史人物总会伴随着很多秘密。

这里，让我们回顾一下爱因斯坦在1942年3月28日亲笔写给莫里斯·斯莱文（Morice Slavin）的信中写了些什么。“通常，我们只能透过一层淡淡的薄雾才能感觉到一个人杰出的品质。”他在信中这样写道。

我的经验告诉我，要重现一个知名人士的个人生活是极其困难的。我和同事亚历山大·沙罗夫（Aleksander Sharov）曾经一起编写埃德温·哈勃（Edwin Hubble）的传记（*Edwin Hubble, the Discoverer of the Big Bang Universe*, Aleksander Sharov and Igor Novikov, Cambridge University Press, 1993）。我非常赞同那本书中所引用的美国著名天文学家艾伦·桑德奇（Alan Sandage）的一段话中的观点：“对我而言，站在科学的角度，我对他所做的一切了解很多，因为可以在记录或他发表的论文中了解一切。无人会对他在科学上取得的成就提出异议，但他的个人生活却比较难以为外人所知。”

我将用爱因斯坦1950年写给荷兰物理学家因费尔德的一封信中的两段话，来作为我对爱因斯坦简短个性评价的总结。

第一段，现在听起来比较新鲜：“在我们这个时代以前，人类基本上是自然界未知力量手中的玩物。现在，我们是官僚主义手中的玩物。不管如何，人类都接受了他的角色。你知道利希滕贝格（Lichtenberg）的一句名言：‘人很少从经验中学到什么，因为每犯一次错误对他来说都似乎是新的。’”

第二段，表明了爱因斯坦对生活的态度及其和谐的内心




世界。他的内心世界通常是受支配世界的法则所支配的:“生活是一幅令人激动的、色彩斑斓的图画,我热爱它。如果我发现我还只能活3个小时了,我对此不会太在意。我所想到的是如何利用余下的这段时间。我会把我的论文整理好,然后躺下等待死神的降临。”

相对论的创始人就是这样一个人。那么,相对论到底告诉我们些什么呢?

这一理论是建立在由实验数据总结出的两个假设的基础上。第一个假设是:匀速直线运动对物理现象不产生任何影响。

当我们讨论伽利略的相对运动原理时已经遇到过这种提法。可是,爱因斯坦的假设是这一原理的重要推广。读者可以回想一下,伽利略只是指机械现象:如用手抛出的物体的运动、空气中物体的飞行等。这些都不受到轮船运动的影响。爱因斯坦强调的是:不仅仅是机械现象,其他所有现象如电磁现象都符合这一原理。无论轮船运动还是静止,电磁波都能进入旅客的客房。

第二个相对论的假设是:光在真空中的速度是恒定的,不受光源和光探测器运动的影响。光速$c$为299792.458千米/秒(最新数据)。

我们会很自然地接受第一个假设,而对第二个假设,则会产生很多疑问。

设想有一个点光源和一个观察者,两者相对静止。观察者测量从点光源发射的光的速度,光速为$c$。按通常的逻辑,如果观察者向着光束方向运动的话,那么相对观察者来说光速就要增加,就要高于光速$c$。

但是我们知道,大量的实验已证明这种想法是错误的,





光速依然保持不变。因而，进一步讨论这一问题将是很有益的。

一个在高速运动火箭中的观察者，从天花板向地板发射一个光信号，通过放在地板上的镜子的反射，光信号回到天花板（见图4.1）。火箭中的观察者看到光线沿同样的路径来回于天花板和地板之间。如果让一个火箭外的静止的观察者来看的话，他会发现火箭中的光信号走的是V形光路。光走过的路程要比火箭里的观察者看到的简单的“上和下”光路要长。因此，火箭外的观察者会认为光信号的速度高于火箭内观察者测到的光速。

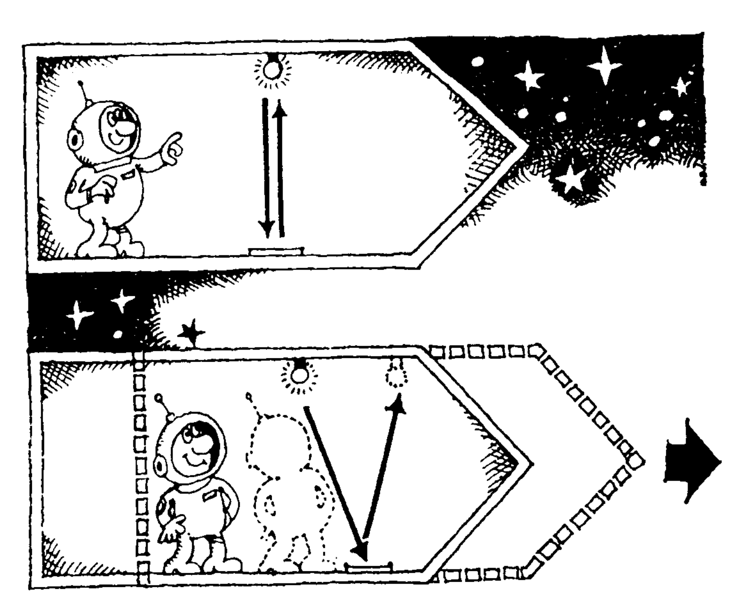


图 4.1

停！回想一下，信号的速度等于信号所走的路程除以所用的时间。对于外部观察者来说，路程要长一些，这是正确的。难道这就意味着速度更高吗？如果对两个观察者来说，光信号所用时间是相同的，那么这一结论是正确的。两次时间相同难道不是显而易见吗？在这两种情况下，所用时间都是光信号来回所花费的时间。这当然正确，但只有当我们假设时间的流逝速度对运动和静止的观察者都相同时才正确。是否这里有任何值得怀疑的地方？难道时间的长度对每一个人或每一件事不都是一样的吗？

这里有一个问题，我们想当然地认为对所有的观察者来说，时间变化的速度是相同的。但这是真的吗？我们是从哪里得出这个假设的呢？

是日常积累的经验让我们这样认为。在我们经历的所有条件下，无论什么运动，时钟都以相同的速度走动（假设所有钟表都处于良好状态）。然而，只有当我们面对的是低速运动时，这种现象才会发生。迈克耳孙—莫雷实验和其他后来的实验证明，当运动速度很高时，再认为时间仍按原速度流逝是不正确的。

爱因斯坦是第一个清楚认识到这一点的人，要做到这一点却远非易事。不仅要分析大量的实验数据，还有一件最重要的事就是要使自己跳出由习惯造成的思维定势。这种思维定势已经在科学界存在了很久，并且看起来是不容置疑的。

下面是爱因斯坦理论的结论。如果一个观察者研究一个相对他高速运动的“实验室”里的物理过程，那么这一物理过程的变化速度要比相对观察者静止的“实验室”里的物理过程的变化速度慢。举例来说，在一个高速运动的火箭里的钟表走得慢些，宇航员的心跳也变慢，身体内的生物化学过



程也变慢，原子中电子的振荡频率也变慢等等。所有的物理过程都变慢了，因此时间本身也不例外。宇宙飞船的速度越快，时间走的越慢。如果火箭的速度达到光速，那么时间就将趋于停止，所有的物理过程都变得无限长。如果火箭的速度相对光速而言很低（就像我们日常生活中遇到的各种速度），那么时间的滞后非常之小，以至于我们根本就注意不到。

只有观察者和火箭之间的相对速度很高时，时间滞后的现象才比较明显。读者也许会对这一观点产生疑问。火箭在不同的时刻，距离观察者有不同的距离。而不同时刻载有飞船物理过程图像的光信号离开飞船，经过不同的通路长度到达观察者，因此，光信号要经过不同的时间才能到达观察者。是否不同的光信号到达观察者时，有不同的时间滞后？是否因为如此，飞船中发生情况的图像会被扭曲？

不，上文所说的各种时间滞后，是指各种物理过程的变化速率变慢了，而且已经把光信号到达观察者时，不同的时间滞后考虑在内。换句话说，对一个外部观察者来说，飞船内发生的一切都确实变慢了。

当第一次听到时间会变慢时，任何人都会觉得不可思议。当我还在五年级时，就想把这个问题搞清楚，但是许多年后，我才真正理解这是什么意思。让我们回到相对论的理解过程中可能会遇到的难题上。

下一个问题是：是否已经有观察到的确切事实证明在一个飞速运动的物体上时间会变慢？是的，已经观察到有这样的事实，而且这些事实的存在，有力地证明了相对论结论的正确性。

前面我已经强调，只有当物体的运动速度接近光速时，





时间滞后现象才能被明显地观察到。因为要把一个较大的物体加速到这样高的速度需要非常多的能量，因此在常规条件下是不可能的。但基本粒子就不同了。物理学家很早以前就知道如何利用一种叫做粒子加速器的特殊设备把这些粒子加速到接近光速。对涉及高速粒子的物理过程的研究进一步证明了相对论的正确性。

带电π介子是一种不稳定的粒子，是在特定的物理过程中产生的一种粒子。这种粒子只能存在极短的时间，然后瞬时就衰变了。如果这些粒子都以低速度运动，那么它们中的一半将会在一亿分之十七秒的时间里衰变掉，也就是所谓的“半衰期”。一亿分之十七秒后，剩下的一半的一半又要衰变掉，依次类推。

但如果我们把π介子加速到光速的90%，那么相对我们的时间而言，这种粒子的寿命变长了。这些是在实验中观察到的真实现象。这种高速运动粒子的半衰期变成了一亿分之三十九秒，相当于静止时半衰期的两倍还多。这一结果完全符合相对论的结论。

又例如：经常会有一些具有很高动能的粒子从外部空间进入大气层，这些粒子叫做宇宙射线。宇宙射线和大气层上层粒子相互作用产生了一系列新的基本粒子。在它们当中，我们发现一种叫做μ介子的粒子。这种粒子同样是一种短寿命的粒子。当这些粒子相对观察者静止时，半衰期为一百万分之二秒。当这些粒子刚在上层大气中产生时，它们的速度为光速的99%。如果时间相对它们没有变慢的话，那么在一百万分之二秒的时间内，这些粒子只能前进约600米的距离。而实际上，根据观测，它们在衰变前已经前进了大约数千米的距离，相对这么高速度运动的粒子而言，时间变慢了7倍。



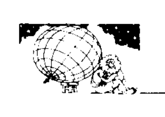
也就是对我们而言，这些粒子的寿命已经延长了许多。它们有足够的时间在衰变前前进如此之长的距离。

还有一个更加吸引人的例子。在宇宙射线中我们发现了质子（氢原子的原子核）以和光速相差无几的速度运动，它们速度的差别要小到小数点后20位。时间相对它们而言要比正常时间慢100亿倍。如果以我们的时间计算，那么这样一个质子穿越银河系所需要的时间为10万年。但如果以“它的时间”计算，穿越银河系的时间只需5分钟。

读者也许会问：对于组成物质的基本粒子而言这一结论是正确的，然而在宏观物体的运动中是否也能观察到类似的时间滞后现象呢？

是的，有些这样的现象已经为人们所熟知了，它们是被天文学家们观测到的。20世纪70年代末，布鲁斯·马尔贡(Bruce Margon)领导的一组美国天文学家，在编号为SS433的双子星系中发现了一个以极高速度向外喷射气体的气体喷泉。该星系中的两颗恒星因为相互间的引力而靠得很近，并且同时围绕着它们的质心旋转。这个星系距离地球约1万光年。(1光年是指光在1年的时间里前进的距离。长度约为10万亿千米。)两个强有力的气体喷泉沿着相反的方向，以大约8万千米／秒的速度向外不停地喷射气体。这个速度大约为光速的三分之一。为了让你对这些气体的能量有一个概念，请注意下面这个数字：每秒钟两个喷泉向外喷射100亿亿吨气体。

由于速度如此之高，喷泉中的时间一定比我们的时间慢一些。当然，这一时间滞后并不像高速基本粒子那样明显。但也是可以观察到的，而且很容易测量。被喷出的气体主要由热氢气组成。在通常的实验条件下，热氢气会发射出特定频




率的电磁波。如果用光谱分析仪分析发射出的电磁波，那么你将会发现热氢气发射出一系列特定颜色的谱线。这些谱线的频率与由于电子振动产生的频率相同。

由于在气体喷泉里时间变慢了，那么热氢气发射的特定频率的谱线的频率就要降低。也就是说，热氢气发射出的光变红了。实际观察到的现象和上述结论相同。

值得注意的是：当被观察物体相对观察者运动时，被观察物体发射出的光的频率，也就是光的颜色会因为一个和相对论无关的原因而变化。这种现象就是“多普勒效应”。如果被观察物体向我们运动，那么我们接收到的光波频率增加，光的颜色发紫。如果被观察物体正远离我们，那么光的颜色就会变红。可以肯定的是，这种效应和时间减慢毫无关系。

在SS433号星系中，同样也观测到了多普勒效应。然而，这个星系中的气体喷泉不停地在空间中改变喷射方向，164天为一个周期。在这期间里，有两次气体喷泉的喷射方向和我们的观测方向垂直。这时，运动的气体既不朝向我们也不远离我们。多普勒效应也就不会引起光的频率变化。（这里忽略了SS433星系作为一个整体同太阳系间的相对较慢的运动速度。）这时天文学家观察到仅仅由于高速运动引起的时间变慢所造成的热氢气光谱红移的现象。

这里还需要说明的是，利用放置在一架普通的喷气式客机上的精确的原子钟，也能测量到由于运动速度造成的时间变慢。当然，还必须把一些影响时间快慢的其他微小因素考虑在内。

现在让我们来总结一下。虽然，爱因斯坦的结论看起来有一些自相矛盾，但是从一个外部观察者的角度来看（被观测物体相对于他是运动的）：被观察物体上的时间变慢了。这





一结论已经被许多实验所证明，已经没有任何疑问。

因此时间是相对的，绝对时间是不存在的。

我们可以发现，光速在爱因斯坦的理论里起着重要作用。所有在真空中传播的电磁波，无论频率如何，是低频无线电波，还是可见光，或是高能X射线，或是更高频的γ射线，它们的速度都是光速。而且对任何观察者而言，它们在真空中的传播速度都是不变的。

这一理论说明：光速是自然界中存在的最大速度。苏联天文物理学家切尔宁（A. Chernin）这样写道："光速是一个绝对速度。"

是什么阻碍了把一个物体的速度加速到光速呢？

让我们假设在一个物体上作用了一个恒定的力，这个力使物体不断加速。牛顿认为：如果这个力作用足够长的时间，那么被作用物体就可以获得任意高的速度。然而，爱因斯坦的理论指出：随着物体速度的增加，物体的质量也在增加，物体的惯性也随之增加。换句话说：也就是物体抵制外力作用的能力增加了。爱因斯坦发现的著名的质能公式的必然结论就是质量随能量的增加而增加。随着速度的增加，物体的动能也增加，物体的质量也增加。由于外力作用而产生的加速度就要减小。当物体的速度达到光速时，物体的质量就变成无穷大。这时就没有哪种力量能使物体的速度超过光速。光速是任何场传播速度的极限。总而言之，是任何信息传递速度的极限。

现在让我们看一下爱因斯坦发现的时间的另一个属性。想象一下，有一列高速运动的火车，一位物理学家站在一节平板敞篷车厢的中间，另一位物理学家站在地面上，有两个信号灯分别固定在平板车厢的两端。当火车上的物理学家正




好经过站在地面上的物理学家面前时，打开两盏信号灯。火车上的物理学家和站在地面上的物理学家同时看到两盏信号灯的灯光。那么两个人会对两盏信号灯点亮的时间先后做出什么样的判断呢？

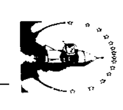
火车上的物理学家说："我站在平板车厢的中间，距车厢两端的距离相等。我看到两盏信号灯同时点亮。由于光速是不变的，所以很明显两盏信号灯是同时点亮的。"

站在地面上的物理学家却得出了不同的结论。"当我正好面对平板车厢的中点时，我看到两盏信号灯同时点亮。这时两盏信号灯到我的距离相等。因为光需要花一定的时间才能到达我，而这段时间火车一直在运动，因此当信号灯的灯光射出时，车尾信号灯到我的距离比车首信号灯到我的距离远。因此，两盏信号灯发出的光走了不同的距离，从车尾信号灯发出的光走了较长的路程。由于光速 $c$ 是不变的，而我又同时看到两盏信号灯的灯光，所以，车尾的信号灯一定比车首的信号灯早亮，两灯点亮并非同时。"

你看，在高速运动火车上同时发生的事，对于站在地面上的物理学家而言，却不是同时发生的。

两件事同时发生，看起来简单明了，但现在发现不再是那么简单了。没有绝对的同时。同时性是一个相对的概念，取决于实验物体和观察者之间的相对运动。用物理学家的话说，就是取决于参照系。

如果在空间中相距不远的地方有两件事同时发生，即使是相对高速的运动也只能使两者发生的时间相差很小。因此，在日常生活中，同时性是绝对的，和运动无关。例如，一列火车在镇广场大钟显示12点时离开站台。这一点对于站在月台附近的人和正驾车穿越镇广场的人来说都是一样的。但如





果两个人相距很远且相对观察者的运动速度很高的话，那么情况就会大不相同。例如，和上一个例子相似，地球有一个人在中午看到银河系里的三角星座中发生了超新星爆炸，而在一枚高速运动的火箭里的宇宙员看到这次爆炸的时间可能就不是在中午了。

在相对论中，只有当两件事在相距不远的地方发生时，“现在”、“以前”和“以后”的概念才有意义。在相距很远距离发生的不同的事，只有当信号有足够的时间以光速从第一件事发生的地点走到第二件事发生的地点，这时“以前和以后”、“早和晚”才有确实的意义。如果信号仍在前进的过程中，那么“以前和以后”之间的关系是不确定的，要取决于观察者的运动状态。对一个观察者而言是“以前”，而对另一个相对前者运动的观察者而言也许就是“以后”。这样的事情就不能简单地联系在一起或者说谁影响谁。否则的话，假设一件事是另一件事的原因（该事应该比后一件事发生得早），但对另一些观察者而言它们之间的因果次序可能会颠倒。

光在真空中的速度是不变的，和观察者的运动无关，而且光速是自然界中最大可能速度，时间的所有属性都直接和这一事实有关。自然界中没有一种运动的速度能超过光在真空中的速度。

最后，我还想再谈一下相对论的另一个结论。

高速运动的物体，在它的运动方向上，物体的尺寸会减少，而在和运动方向垂直的方向上，物体的尺寸不变。这种尺寸的缩小在低速时很不明显，而当速度接近光速时，这种变化就很明显了。

相对论的结论极大地改变了我们对时间和空间的认识。

这里有一个问题经常被提出：“在一枚高速运动的火箭中




的宇航员的感觉是怎样的？他或她将怎样看待对外部观察者而言很明显的时间和长度的变化？”

回答是很明显的：宇航员根本就感觉不到有什么不同。实际上，只是对外部观察者而言，宇航员的心跳、时钟走时及其他一些过程以相同的程度变慢了。也就是说，如果他的心跳是每秒1次的话，那么他的心跳和时钟秒针的走动还是同时发生的。在他的时间流里（也就是"正确"时间），每件事的进展过程都和火箭静止时一样。然而相对外部观察者而言，"正确"时间流的流速却发生了改变。因此，时间流并不是在任何地点都保持同样的流动速度。

宇航员也不能观察到他的火箭在长度方向上的缩短。实际上，任何一根1米长的木棍或任何其他用来测量长度的参照物都会同样地缩短。所以，宇航员测量火箭长度的结果和火箭未加速之前的结果是一样的。

所以宇航员不会发现任何变化，他也不会发现自己的速度已经如此之高。当然，这一结论和相对论的第一个假设是完全一致的，也就是说，在高速运动的火箭上产生的每一种变化都和火箭静止时发生的变化相同。

这里的运动是相对的，绝对的运动是不存在的。因此，宇航员会认为自己是处于静止状态，而地球正向相反方向高速运动。进而宇航员会认为地球上的时间比他火箭上的时间走得慢。如果一个第一次接触到相对论或是已经忘记了学校里老师是如何解释相对论的读者，他也许会问："这怎么可能呢？地球上的观察者认为宇航员的时间走得慢，同时宇航员又认为地球上的时间走得慢，到底哪一个是正确的呢？我可以接受时间会变慢，虽然有一些难以理解，但是是宇航员的时间变慢了还是地球上的时间变慢了呢？”就像米尔恩（A.





A. Milne）说过的："尾巴要么在那儿，要么不在那儿。你不可能搞错这个。"这个问题只能有一个明确的答案。

事实上，的确不存在一个惟一确定的答案。尽管听起来非常古怪，但并不难解释。为了便于比较，让我们回想一下伽利略关于在运动的船舱中进行物体下落实验的论述。对船舱里的乘客而言，从手中掉下的物体是垂直下落的，而对一外部观察者而言，物体下落过程中由于还和船一起向前运动，所以物体下落的轨道是一条抛物线。有人也许会问："下落物体到底是直线还是抛物线呢？"很明显这种询问毫无意义。物体下落的轨迹是由观察者确定的。船舱里的乘客看到的下落轨迹确实是一条直线。外部观察者看到的轨迹确实是一条抛物线。这里不存在任何矛盾。

同样的结论也适用于时间变慢。对地球上的观察者而言，宇航员的时间确实变慢了。同时对宇航员而言，地球上所有的事件过程也确实变慢了。这里没有任何矛盾，所有结论都和相对论相吻合。

当然，这不太容易理解。但是，爱因斯坦的理论建立在实验观测的基础上。在这种情况下，我想引用夏洛克·福尔摩斯的一句名言："如果你已经排除了一切不可能的，那么无论剩下的是什么，一定是事实。"[《四签名》（*The Sign of Four*）]

那些没有完全弄清楚或是还没有立即明白的读者也不用失望。因为在爱因斯坦公布了他的发现之后，有许多知名的科学家也花了很长时间才弄明白他的理论。对于"一般的"科学家，更不要说对物理学并不熟悉的普通人，要理解这些和习惯观念截然不同的观点，也会遇到难以计数的困难。还有很多人试图在该理论中寻找错误和相对矛盾的地方。

这类企图甚至在数十年后都没有停止。例如在1931年，距爱因斯坦发表相对论已经25年了。在莱比锡出版的一本书，书名为《一百名反对爱因斯坦的人》(*100 Authors Against Einstein*)。这本书中的100名专家坚决反对爱因斯坦的相对论及其结论。关于这本书还有这样一个故事。当爱因斯坦得知有这样一本书时，他笑了，用他一贯的平静语调说，如果他的理论是错误的，那么只需要一名专家的反驳就足够了。[我在引用《相对论简介和相对论在新技术中的应用》(*Introduction to Relativity Theory and its Applications to New Technologies*. N. I. Gddenblat and S. V. Ulyanov. Nauka, Moscow, 1975)一书中的一段描述后，还会再详细讲述这个故事。]

当然，在爱因斯坦的结论中不存在自相矛盾的地方。对于一些严肃、谨慎的科学家而言，有关相对论是否成立的争论，很久以前就已经成为了历史。这一理论是建立在所有现代物理学的基础上的。该理论被用来设计巨大的基本粒子加速器和原子能电站。它在很多实验中都得到了证实。原子弹的爆炸就是一个很好的例子。

这里还应该指出，现在的中学生和大学生通常在掌握相对论的过程中不会遇到太大的困难。和本世纪初的物理学家，甚至是和我们同一时代的、在本世纪中叶出生的物理学家相比，他们都要轻松许多。原因很简单，那就是在我们正逐步迈向21世纪的同时，科学推理的风格发生了改变。

我前面曾经提到，当科学领域中即将诞生一个会对后世产生重要影响的新观点时，典型的情况就是：有一些科学家已经得出了很接近最终结果的理论推导并且已经解释了其中一部分属性，然后由一位真正的天才在此基础上得出最终的



推导和结论。相对论也是如此。它的一些数学公式在上个世纪末，即19世纪80年代末，就已经被推导出来了。荷兰物理学家亨德里克·洛伦兹（Hendrik Lorentz）和法国数学家亨利·庞加莱（Henri Poincare）的研究成果就已经非常接近相对论。但最艰辛也是最需要勇气的一步，即要对传统的时间和空间概念进行变革，是由爱因斯坦完成的。1912年，洛伦兹回忆起在1905年（爱因斯坦正式发表论文）以前，他就试图寻找一种理论来解释实验结果中的各种矛盾。他在1904年的论文中没能像爱因斯坦在相对论中那样得出令人满意的变换公式，这一点使他的论文缺乏说服力，并受到广泛的质疑。洛伦兹进一步指出，爱因斯坦最伟大的成就就是首先推导出相对论的基础公式，并使这一公式成为严格的、包含一切的、精确的定理。

1990年初，有传闻说，爱因斯坦的第一位夫人米列娃·马里奇（Mileva Maric）在创立相对论的过程中起着重要的作用，一些人还试图给这种流言寻找证据。我不认为这个故事有任何可信之处。我将引用科学史方面的专家，哈佛大学教授杰拉尔德·霍尔顿（Gerald Holton）的观点[《今日物理学》（*Physics Today*），1994年8月和9月]：

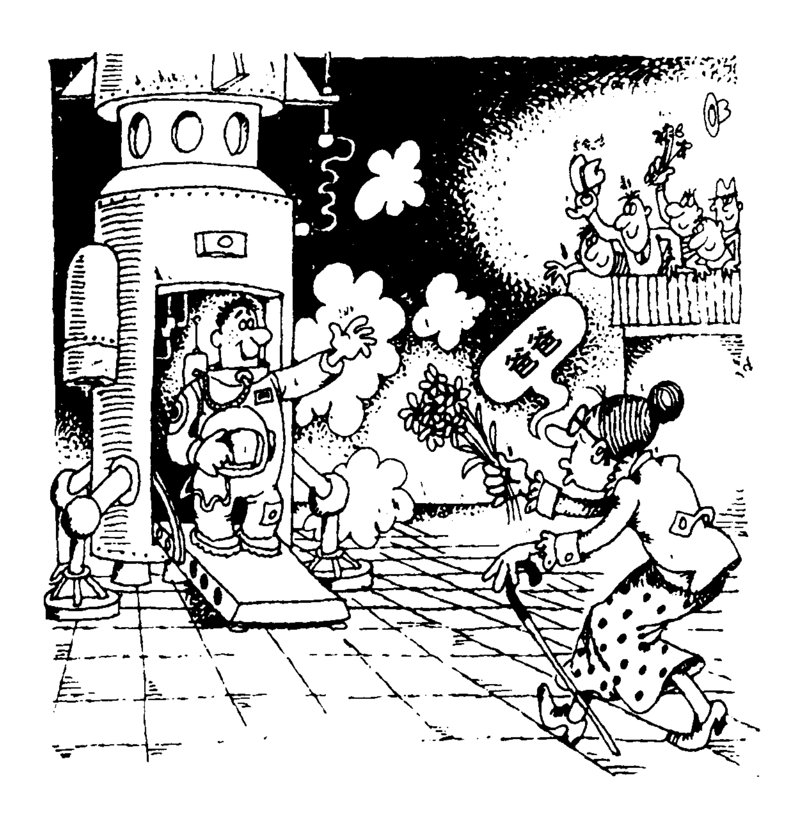
约翰·施塔赫尔（John Stachel）、于尔根·雷恩（Jürgen Renn）、罗伯特·舒尔曼（Robert Schulman）和亚伯拉罕·派斯（Abraham Pais）等物理学史专家分析后认为，马里奇和爱因斯坦在科学上的合作实际上很少，而且是单方面的。

20世纪90年代早期，这种话题受到广泛关注的原因之一可能是一些读者渴望详细了解科学史上的一些传闻。



# 第五章

# 时间机器






年轻时，我们中的哪一个人没有沉浸在赫伯特·威尔斯(Herbert Wells)的著名短篇小说《时间机器》(*The Time Machine*)之中呢？书中主人公使用时间机器，能够穿越时空，访问地球遥远的未来。韦尔斯同时还赋予这台机器回归过去的神奇能力。

很多科幻小说的作者都幻想着能在过去和未来之间自由穿行。不过，很有可能的是，这些作者仅仅把这种情节视为一种纯粹的幻想和一种文学上的小把戏。

人类的各种经验和科学知识都使人们不可避免地得出下面的结论：在时间中旅行是不可能的。空间才是运动允许存在的地方。在地球上，可以向不同的方向前进，最终都可以回到起点。而另一方面，我们却不能在时间里选择运动方向，而只能在时间之河中顺流而下。所以人们认识到时间和空间之间存在着显著的不同。

直到1905年，爱因斯坦发现了时间那令人不可思议的属性后，我们是时间之河的“俘虏”、我们无法在时间中自由“行驶”的观点才被否定了。人类以前只是由于不知道、能力有限而未能驾驭时间之河。那么这是否意味着现在我们能在时间中自由穿行了呢？

是，也不是！可以这么说，爱因斯坦的理论已经解决了



这个问题的一半。现在看来，我们只能加速流向“下游”，即向未来前进，把时间甩在身后。然而，该理论没有揭示任何通向“上游”的方法，没有回到过去的途径。那么，如何才能超越时间，到达未来呢?

要达到这样的目标，威尔斯的个人想法就是跳进时间机器，用力压一根手柄，然后时间机器开始振动，接着就和乘坐者一起飞向要去的时代。

相对论证明，时间里的这一类旅行是不允许的。你不得不通过在空间中的运动来达到在时间中运动的目的。为了到达未来，必须使用前面提到的火箭，并要把火箭的速度加速到接近光速。然后以这样的速度在太空中飞行一段时间（如1年）再回到地球。对地球上的人来说，高速火箭上的时间比地球上的时间走得慢。因此，当火箭返回地球时，在地球上经历的时间比在火箭上经历的时间长。这样产生的结果就是火箭上的人来到了地球的未来。

1911年法国物理学家皮埃尔·郎之万(Pierre Langevin)设想过这样一个实验。假设有一对孪生兄弟，其中一人乘火箭进行太空旅行，而另一个则呆在地球上。当火箭返回地球后，火箭上的他将要比他的兄弟年轻。对他来说，他明显地来到了地球的未来。

实际上，有一些理论物理学家对这种效果的可能性表示了怀疑。他们指出，爱因斯坦的理论阐述的是运动的相对性。因此，宇航员可以认为他是静止的，而地球却以相同的速度向相反的方向运动。从他的角度来看，地球上的时间比火箭上的时间走得慢，从而得出的结论是：当他返回地球时，他的兄弟要比他年轻。

这样的结论显然是自相矛盾的。在实验的最后，兄弟俩





都认为对方将会比自己年轻。哪种结论是正确的呢？尽管事实上，通过相貌兄弟俩能立即分辨出谁更年轻。这就是著名的“孪生佯谬”。

专家们善于处理这种情况，很快就找到了问题所在。但在很多年里，许多人认为“孪生佯谬”证明了相对论显然是一个不完善的、有错误的理论。啊哈！即使在今天的文献中也还经常出现这一类的“推理”。那么谁会更老一些呢？这又是为什么呢？

很重要的一点就是相对论关于时钟前进速率的论述：时钟前进速率只在相对于一个“实验室”，或一般而言，相对于做惯性运动的物体时才是有效的。物理学家们认为爱因斯坦的公式（照爱因斯坦的表述方式），只适用于“惯性参照系”。一个乘客只有在飞船不做加速或减速运动时，才不会觉出飞船在运动。当飞船起飞时，宇航员会毫无疑问地感受到加速度，今天几乎没有人会对宇航员在飞船发射和着陆过程中要承受的巨大过载一事一无所知。

现在我们清楚了：地球上的人和火箭中的宇航员的情况并不完全一样。地球可以被认为是一个大致良好的惯性参照系。对一名经历了长时间和长距离太空旅行要返回地球的宇航员来说，有必要使飞船减速并停止，然后向着地球加速飞行，最后再次减速并安全地降落在地球上。在加速和减速的过程中，运动不是惯性的。宇航员也要经受与之相应的过载。在这些运动状态下，适用于惯性系统的公式就不再适用于实验飞船，因而宇航员就无法认为地球上的时间走得慢。

这里，我不打算详细说明整个过程。理论物理学家知道如何计算实验飞船里的时间，即使在飞船的运动过程中存在加速度。最终的结论就是：所谓的矛盾是不存在的。地球上



的观察者的结论是正确的，这是因为他的参照系总是惯性的（有足够的精度），而与此同时，实验火箭的运动却伴有加速度。在存在加速度的条件下，假设宇航员会认为地球上的时间走得慢是错误的。因此，宇航员返回地球时，已经到达了未来。火箭的速度越快，航行的距离越长，他就会被传送到越遥远的未来。

这种能够访问未来的可能性使每一个第一次接触相对论的人都感到十分古怪。

当我还是莫斯科大学天文学系三年级学生时，我在一系列的研究课题中很偶然地注意到了“孪生佯谬”。后来知道这一课题的导师是著名的苏联宇航学家泽尔曼诺夫。

那个时代，相对论还没有纳入物理学的教学之中，不过我已经在一些科学普及手册上读到了一些关于相对论的文章，而且认为自己对“孪生佯谬”有一些个人的见解。当时，我对相对论本身并不知道什么，只觉得是一种极其复杂的理论，而且对自己能否真正搞懂它表示怀疑。这种神秘感最终使我来到了泽尔曼诺夫面前。

他是一个轻声说话、敏感、博学的人，以19世纪末期“旧式学院派”的典型工作方式工作。我的意思是指，这是一种不急不慢、若有所思、吹毛求疵的工作方式。一个想法要翻来覆去地想很长的时间，所有的计算都要十分的完整，并反复演算很多遍，还要花很多时间准备要发表的论文。这和今天的高速度、高压力的科学工作方式（伴随我们一生）截然不同。

当时泽尔曼诺夫正受到上司的责难。他的上司，几乎可以说，是一个对科学一窍不通的人，却喜欢对科学工作指手画脚。他们将研究宇宙结构及其现象之一的宇宙膨胀（我将




在本书的后面进行说明）的宇宙学，判定为是伪科学、非科学，是反对和否定“马克思主义辩证法”的。20世纪50年代初，泽尔曼诺夫被莫斯科圣何本革天文研究所除名。当我和他见面时，情况已经有所好转，他可以回到研究所工作了。

在我和他的第一次会谈中，他详细说明了希望我进行计算的内容，宇航员推测的地球上时钟的前进速度是多少，在宇宙飞船坐舱中看到的宇宙是什么样的等等。第一次会面时，我对这些要求还不是很了解。泽尔曼诺夫向我推荐了列夫·朗道和欧格尼·利夫席茨（Eugenii Lifshiz）合著的一本有名的理论物理教科书，说弄懂这本书会对解决我所面对的问题有帮助。因此我开始钻研这本书。

数周后，我得出这样一种印象：这本书中我要学的章节很容易懂。因此我又一次去见泽尔曼诺夫。他听我说完后说：“那太好了！你现在可以开始你的计算了。”我听完后一愣，“开始计算！”怎么计算？我对第一步是什么还没有一点概念。但我的导师是一位很优秀的导师。他立即指出了我面临的困难，并暗示我该如何开始计算“飞船”参照系的运动效应。于是我就开始了计算。

过了一些时候，泽尔曼诺夫又叫我钻研一本比较复杂的专著《空间、时间和万有引力的理论》(*Theory of Space, Time and Gravitation*)，作者福克（V. Fock）。现在，很多事情已经清楚了，工作进展得也越来越快。最后，我按时完成了计算。

这是我第一次进行理论物理学方面的研究工作。许多年后，我当时的计算过程居然得到了发表。这篇论文主要是关于计算方法，同时也包括最初的结果。

现在，让我们来看看结果。我的第一个问题是：宇航员



通过正在时间和空间中飞行的实验飞船的窗户看到的宇宙是什么样子的？

宇航员将会观察到两种效应。第一个效应是多普勒效应。当我们飞向光源时，多普勒效应会使光源发出的光变蓝。而当我们远离光源时，光会变红。

但是，这并不是全部。如果观察者的速度很高，那么我们观察遥远恒星的方向也会发生变化。什么使方向改变了呢？让我们回想一下乘火车或汽车在雨中行驶的情景。当我们静止时，雨在窗户上留下的痕迹是垂直向下的。一旦我们开始运动，水滴的痕迹就变得不再垂直，痕迹向车辆前进的方向倾斜。

光也有类似的现象。对于运动着的观察者，光线也向他运动的方向倾斜。因此，宇航员会看到所有的恒星都集中到火箭飞行方向直对的那一点上。这一现象就是光行差。当飞船的速度接近光速时，恒星在空间里的视觉移动是很大的。

我曾经计算过，当飞船的速度是25万千米／秒时，天空将会变成的样子就如图5.1中画的那样。对宇航员来说，好像天空中的恒星都集中到火箭飞行的目的地。在这个方向上，恒星的密度会很高，而在飞船尾部的方向上，几乎看不到什么恒星。

恒星的颜色也会由于多普勒效应而发生改变。在运动前进的方向上的恒星会变得发蓝并更加明亮，而在相反的方向上，只会有一些昏暗的、发红的点。

旅行的时间表是怎样安排的呢？在我开始研究时，我挑选的目的地是半人马座的比邻星。这是一颗距太阳最近的恒星，距离地球约40万亿千米（4.3光年）。按照我对整个过程的设想，在飞行的头4个月里，火箭将不断加速，由于火箭

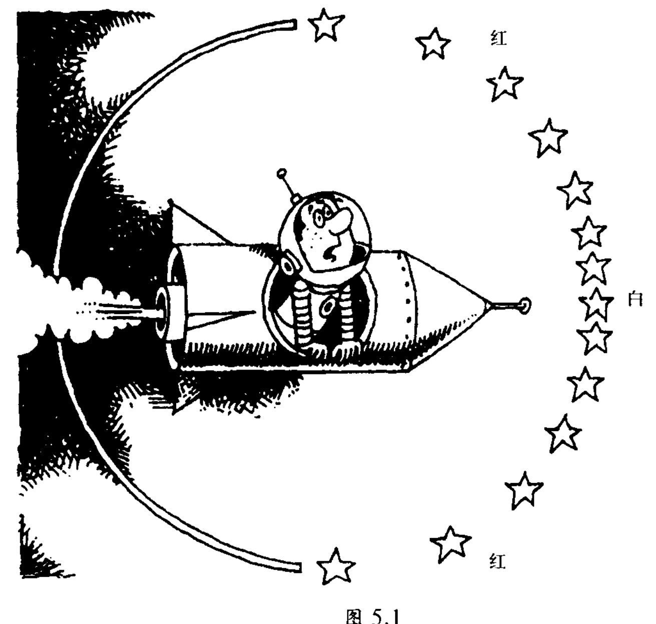



图 5.1

发动机的巨大推力产生的加速度，使宇航员的负重增加到 $3g$，是地球上的三倍。加速过程结束时，飞船的速度达到 25 万千米／秒，这时火箭发动机将关闭，开始靠惯性在空间中飞行。这时宇航员就能欣赏到天空中那不同寻常的景色了。

当接近比邻星时，减速发动机启动，飞船开始减速并最终停止。随后，飞船开始加速向太阳返回，靠近地球时，再次减速。地球上的时钟显示：整个飞行过程用了 12 年，而飞船上的时钟显示：整个飞行过程只用了 7 年。当宇航员返回地球时，已经被转移到 5 年后的未来时代。“宇宙时间机器”就是这样工作的。

通过上面的例子，我们可以清晰地认识到：即使运动的



速度很高，在宇宙中飞行了很长的距离，但由此产生的时间跳跃并不是很大。但是，时间跳跃确实存在（在未来的星际飞行中，时间跳跃将不可避免）。从原理上讲，空间里的任何运动，即使是低速运动中也存在时间跳跃。然而，通常情况下这种现象是可以忽略不计的。例如：以8千米／秒的速度围绕地球轨道运行1年时间的苏联"礼炮号"空间站上的宇航员1988年返回地面时，只进入了百分之一秒的未来。

在未来的星际飞行中，由光子驱动的火箭可以加速到非常接近光速。这一速度要比飞往比邻星的火箭速度高很多，前者的速度只相当于光速的80%。在这种真正的高速条件下，面向未来的时间跳跃会非常显著。想象一下，宇航员乘坐一枚光子火箭飞向银河系的中心（这是一段在空间和时间中的旅行）。在头半段的旅程中，火箭以恒定的加速度加速，宇航员将恒定地承受2*g*的负载。在后半段，火箭减速，宇航员承受的负载同样恒定为2*g*。在火箭返回地球的过程中将重复上面描述的一切。来回合在一起，地球时间已经过了6万年。这时的地球已经事过境迁了。但是按火箭上的时间计算，只过了40年，这段时间完全在人的精力旺盛期。当火箭返回地球时，宇航员们将发现他们来到了遥远的未来。

他们将会发现什么？只有科幻小说的作者才会知道。这时遇到的一个最主要的问题将不是科学上的，而是社会和心理上的。我们对此真的无法多说什么。波兰科幻小说作家斯坦尼斯拉夫·拉姆（Stanislav Lam）在小说《星际返回》（*Return from the Stars*）中生动地描述了一个被送到完全陌生时代的人的经历。

我还需指出星际旅行的另一个特征。在人的第一印象中，人类被围困在宇宙之中。看起来，单个人无法离开他或她的




出生地很远，就像是被一条看不见的时间锁链拴住一样。没有什么物体的速度会超过光速，因此，一个人在100年的生命时间里无法到达100光年以外的地方，这段距离仅能到达距太阳最近的恒星。

实际上，这一说法是建立在一个严重的错误之上的：它没有注意到空间旅行者的时间会减慢。如果这一点也被考虑在内的话，那么飞船可以飞行很远很远的距离，可以达到宇宙的每一个角落。

前景绝对令人兴奋，是吧？

然而，创造性思维又有了一个更加激动人心的想法。在宇宙中进行长时间、长距离的星际旅行是否有必要？是否存在一条捷径呢？

我要乞求读者们耐心，我会在后面讨论这个问题。在莫斯科理论和实验物理研究所举行的一次研讨会上，我曾经就这种捷径存在的可能性发表过一次演讲。演讲结束后，列夫·奥昆（Lev Okun）教授，一位具有国际声望的理论物理学家，这样对我说："你看，很多年前我曾经和一位知名的物理学家共同在一个星光灿烂的夜晚散步，看着天上的繁星，我开玩笑说，除了在宇宙中进行无休止的飞行以外，肯定还存在一种简单的方法使我们到达那些恒星。我的同伴怀疑地看着我说道：'放弃这个漫无边际的幻想吧，这仅仅是一个神话故事而已。'如果现在这些可能能够变为现实，那将是多么奇妙啊！哪怕仅仅是在理论上实现也好啊！"

科学强迫我们对哪怕是最不寻常的理论设想都认真对待。有很多曾经是狂想，如今却已变成现实的例子，如释放原子能量、空间飞行等等。理论物理学家昨天还在纸上勾画的事，明天也许就变成了现实。因此，让我们积极地对待物理学家



的设想，即使是那些看起来远不可及的设想。

让我们暂时满足于这些观点。我将在后面讨论如何寻找去恒星的其他途径。

我还要再说明一点，相对论指明了一条走向未来的道路。但是如何到达过去呢？我们能否返回已过去的日子？我们能否回到久远的历史年代中去？

在前面已提到：相对论没有提供任何实现这一目的的方法。那么，在爱因斯坦相对论之后发展起来的其他理论有没有给我们指明一条道路呢？

我要再次乞求读者们的耐心。我首先要改变一下问题的提法：过去能否被看见？苏联物理学家切尔宁，一位知名的科普工作者，给出了这样一个答案："如果能看见任何东西的话，我们看到的就是过去。"这句话太出乎人们意料了，听起来有点像胡说八道。

实际上，道理是很简单的。我们通过光线才能看到周围的景物，光线从被我们看到的物体到达我们的眼睛需要一定的时间。因此，我们看到的物体是光线离开物体那一刻的物体。当然，光速是极高的，我们日常生活中的景物离我们并不很远，因此光经过这段距离的时间完全可以忽略不计。但是，任何时刻我们看到的物体都是瞬时以前的物体。在那个时刻，光开始离开物体飞向我们的眼睛，因此我们看到的都是过去的物体！虽然不是很久以前，但毕竟同样是过去。

当我们仰望天空中的星星时，情况就有了很大不同。光从太阳到达地球需要8分钟，从其他恒星到达地球需要数年，而从一个遥远的星系到达地球的时间也许要数百万年甚至是数十亿年时间。我们观察到的是这些星系遥远的过去。这段时间对很多恒星的诞生和灭亡，或对星系的产生和进化来说



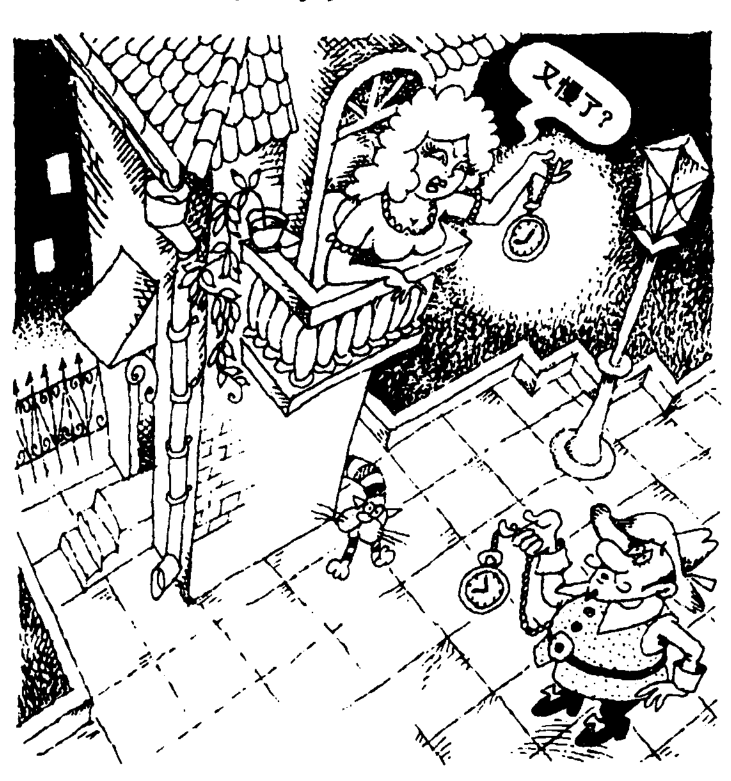

已经足够！离我们远近不同的天体，处在过去不同的时刻：距离越是遥远，光需要经历的时间就越长，当我们观察到它时，它所处的时刻就越是古老。

这一点对天文学家们来说却是一件头痛的事。因为我们观察到的不同距离的星系代表的是宇宙不同时期的进化状态，因此需要将它们放入一个很长阶段的星系进化过程中进行对照比较。然而这不是一件容易的事，我们对星系进化的规律了解不多，因而，遇到任何令人惊讶的事都是可能的。

在接下来的内容中，我会把技术上的困难留给专家们去思考，而专注于本书的主题。

# 第六章

# 时间、空间和万有引力







每一个人都知道宇宙空间是一个三维空间，也就是说空间可以用长、宽、高来表示，对于任何一个物体来说也是一样。稍有不同的是，空间中的一个点的位置由三个坐标值表示。我在空间中画一条直线、一个平面或一条复杂的曲线，它们的属性必然符合几何学法则，这些法则在古代就已为人们所知。公元前3世纪欧几里得（Euclid）把它们编写成书。欧几里得几何学作为描述所有直线、面和体积的公理和定理，在学校里被一代又一代的学生学习。

如果我们不仅仅想研究物体在空间里的位置，还想研究事物在三维空间里的发展过程，那么我们就得把时间加上。一件事在空间的某一点发生，可以用三个数字表示该空间点的位置，再用第四个数表示该事件发生的时间。对于一个事件而言，时间是第四维坐标。从这个角度出发，我们说我们生活的这个世界是四维的。

当然，这一切都已为人们所熟知了。那么，为什么在相对论诞生以前人们没有像对待新知识那样严肃认真地对待四维空间的概念呢？主要是因为时间和空间各自的特点看上去是那样的不同，当我们说到空间时，在我们的脑海里就会出现一幅静态的画面：所有的物体或几何图形都静止在给定的时刻。与此相反，时间在不停地流逝（从过去到未来），物体



也不断地改变着位置。

空间是三维的，而时间是一维的。事实上，古代的哲学家就已经把时间和直线相比较了。但是这一直被认为是一种有用的视觉形象，而没有什么深远的意义。相对论出现以后，一切都发生了巨大的变化。

1908 年，德国数学家赫尔曼·闵可夫斯基（Hermann Minkowski）进一步发展了相对论的观点，他说："从现在起，时间和空间彼此独立的观点必将被废弃，只有某种将两者结合在一起的形式才能独立存在。"闵可夫斯基在直截了当、充满自信的发言中要表达的意思是什么？

他想强调两点。首先，时间间隔和空间长度是相对的，取决于所选择的参照系。其次，也是他想表达的最重要的部分，空间和时间是紧密联系在一起的，是不可分割的。实际上，它们是同一整体的两个方面：四维空间。爱因斯坦时代以前的物理学家对其中紧密的联系一无所知。那么这种联系是如何表现的呢？

最重要的一点就是：空间距离可以通过测量光或者任一电磁波经过这段距离的时间来决定。这就是雷达测距的工作原理，其根本点是任何电磁波传播的速度与波源或其反射波的物体的运动无关，始终等于$c$。因此，距离可以简单地用电磁信号传播的时间乘以速度$c$求得。在爱因斯坦的相对论出现以前，人们不知道光速是恒定的，所以认为上述计算方法是错误的。

当然，也可以选择相反的过程：通过光信号走过一段已知的距离来测量时间。例如，让一个光信号在两面相距 3 米的镜子之间来回反射，相邻两次反射的时间间隔是一亿分之一秒。光信号在两镜面间反射的次数就代表着多少个一亿分





之一秒已经过去。

这些例子说明了时间和空间之间的关系，空间距离和时间长度之间只相差了一个我们熟悉的固定的乘数“$c$”。

此外，另一个时间空间具有统一性的证明是：如果物体的速度随时间增加，物体上时间前进的速率会减小；与此同时，物体沿长度方向的尺寸也会减小（沿运动方向），两者减小的程度相同。因为两个事件（例如点亮两个灯泡）在空间中的距离和这两个事件发生的时间间隔之间有精确的相互关系，通过简单的计算就能够得出：对所有的观察者来说，至少有一个量是恒定不变的，即不需考虑观察者自身的运动速度，也与任意两个实验室的速度无关。这就是四维时空中的距离。闵可夫斯基认为时空是时间和空间的精确“统一”。

要理解这种时间和空间的统一并不十分困难，但要想象出一个四维的世界就要困难得多。存在这种困难并不令人吃惊，当我们在平面上画几何图形时，我们通常不会遇到什么困难：这些图形都是二维的（只有长和宽）。

但很多人在想象三维构形时感到很吃力，如棱锥、圆锥、空间平面等。而想象一个四维构形，即使对于一直钻研相对论的专家来说也不是一件容易的工作。

享有盛誉的英国理论物理学家斯蒂芬·霍金，是一位在相对论领域里无人能及的专家，在他的名著《时间简史》（*Brief History of Time*）中这样写到：“就我个人而言，我觉得想象一个三维世界是很困难的。”他这样写是为了让读者不用为想象不出四维世界是什么样的而感到不高兴。专家们成功地应用了时空这个概念。例如，利用时空中的一条线表示物体的运动。

图6.1中，水平轴表示空间中单一方向上的距离，垂直轴



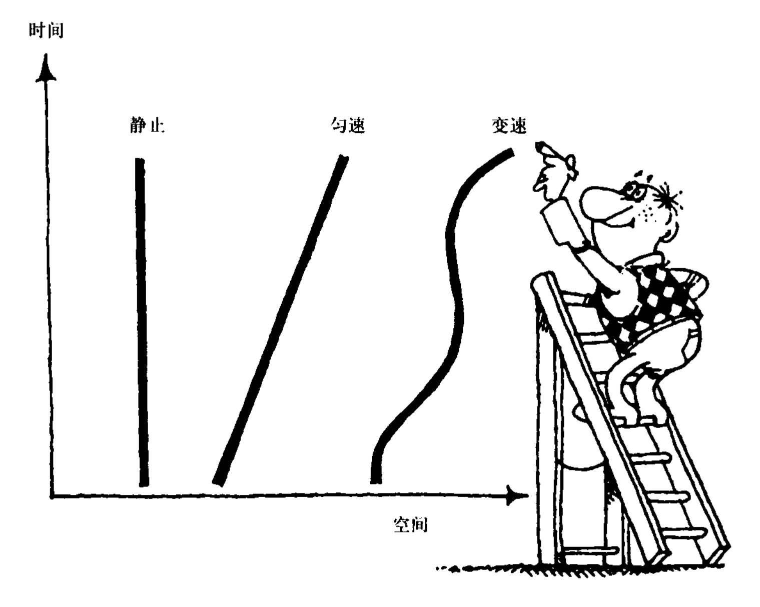



图 6.1

表示时间。我们可以在图上标绘出任一时刻物体的位置。假设物体是静止不同的，也就是它的位置不变，在图中由一条垂直的直线表示。如果物体以恒定的速度运动，我们得到了一条倾斜的直线。任意的运动可用一条曲线表示，这条曲线叫做“世界线”*。通常情况下，物体还要沿其他两个方向运动，而不仅仅是沿一条轴线。那么世界线就能反映物体在四维空间中的存在。

画这张图的目的是让读者们知道时间和空间的地位是相同的，它们不同的数值只是标在不同的轴上。但是时间和空

* 基本粒子在时空中保持其同一性的时间和位置的运行通路——译者注。





间之间存在着一个本质的区别:我们可以停在空间的某一点,在时间中却无法做到这一点。在图6.1中,物体的世界线是垂直的。即使物体是静止的,但随着时间的流逝,物体好像被拉长了。这一点对宇宙中的所有物体来说都是正确的,它们的世界线无法停止,也无法在某个时刻被剪断,因为时间从不停顿。只要物体还存在,其世界线就会不断地向前延伸。

正如我们看到的那样,四维时空这个物理概念之中并没有什么神秘之处。爱因斯坦曾经这样说,一个不搞数学研究的人在听到"四维"时就会产生一种莫名其妙的焦虑和紧张,这种感觉就像舞台上鬼怪制造出的那种感觉一样……然而实际上,这同说我们周围的世界是在四维空间中不断延续一样普通。

毫无疑问,一个新的概念要经过一段时间才能为人们所习惯。但是,理论物理学家把四维世界的概念用作日常工具。勾画物体的世界线,计算它们的长度,寻找它们的交汇点等等。在这个四维世界中,他们发展了一门和欧几里得几何学相似的四维几何学。为了纪念赫尔曼·闵可夫斯基,四维世界也被称为闵可夫斯基时空。

1905年创立相对论后,爱因斯坦又努力工作了10年。这10年中,他尝试着寻找相对论和牛顿的万有引力定律之间的关系。

牛顿发现的万有引力定律不适合相对论。牛顿的定律认为:一个物体对另一个物体的引力和两个物体之间的距离的平方成反比。因此,如果其中一个物体发生变化或两者之间的距离发生改变,那么两物体间的引力就会立即发生变化。因此,牛顿的万有引力在空间中的传播速度是无限快的。但是,相对论认为这是不可能的,任何作用力、任何效应的作



用速度都不可能超过光速。因此，物体之间的万有引力不可能立即就发生改变！

1915年爱因斯坦完成了新的理论，该理论把相对论和万有引力定律结合在了一起，他称之为广义相对论。随后，人们把1905年创立的不能处理万有引力定律的相对论称为狭义相对论。

在当时，新理论中使用的数学工具对当时的物理学家来说过于复杂，以至于当时大多数的理论物理学家都没有弄明白这个新理论是怎么一回事。

尽管其中包含了复杂的数学推导，但基本观点却很简单（这才是真正重要的）。但是，这些观点比狭义相对论更加勇敢、更加显著地改变了时间和空间的概念。

牛顿非常清楚地知道，他只能够描述万有引力的法则，但不清楚万有引力是如何从一个物体作用到另一个物体的。也就是说，不清楚万有引力的作用“机制”。牛顿这样写到：迄今为止，我还没有从各种现象中找到产生重力的原因，而且我也没有提出任何假设，因为任何一个假设都不是从现象中推理出来的。在当时，这对他已经足够了：万有引力确实存在，并且作用效果符合由他推导出的定理，同时这一定律还适用于天体和海洋。

爱因斯坦的广义相对论确实揭示了万有引力的作用“机制”。理论指出：万有引力显著地不同于其他任何自然力。为了清楚地说明这一点，让我们求助于下面的比较。球在一个平面上滚动的路径是一条直线，而直线是连接任意两点的最短线段。如果让球在一个曲面上滚动，那么球的运动轨迹将是一条曲线，这是因为在弯曲的表面上不存在直线。例如，让球在地球的表面上滚动（我们假设地球的表面绝对光滑，没




有山脉、峡谷和其他障碍物)，它会沿着球面上最短的轨迹滚动（这种任意曲面上的最短距离曲线叫做最短程线或测地线)。

爱因斯坦的万有引力理论指出：受万有引力作用的物体对称地扰乱了它周围的时空。我前面已经提到，想象四维空间是很困难的，现在又要加上“扭曲变形”……但是，数学家和物理学家不借助可视化概念也能很好地工作。对他们来说，时空扭曲就是形状和实体的几何特性发生了改变。例如，在任何平面上，圆的周长和它的直径的比值等于π。但在曲面上或是在“扭曲的空间”里，这个等式就不再成立了，它们之间的几何关系就不再等同于欧几里得几何中的关系。一旦了解了扭曲几何的法则，专家们就能在这种不同寻常的空间里开始工作。

19世纪初，俄国数学家尼古拉·罗巴彻夫斯基（Nikolai Lobachevsky）和匈牙利数学家亚诺什·鲍耶（Janos Bolyai）在理论上发现三维空间可以被扭曲。19世纪中叶时，专研几何的德国数学家格雷尔格·黎曼（Georg Riemann）指出，扭曲空间存在于四维空间中，甚至是n维空间中。从那时起，研究扭曲空间的几何学被称为“非欧几里得几何学”。非欧几里得几何学的创始人并不知道在何种条件下，他们研究的几何学才会得到应用。一些研究者为此提出了一些猜想，他们及其追随者不断发展的数学工具后来被用来推导广义相对论。

爱因斯坦的基础思想是：相互吸引的物体使周围的时空扭曲。现在让我们考虑一下其他一些在扭曲时空中运动的、质量很小的物体（物理学上把它们称作“探针”)。同以前一样，探针沿着最短程线运动。在没有发生扭曲的时空中，最



短程线是一条直线，但在扭曲时空中，它们是曲线。这种沿着曲线轨迹的运动被认为是由于万有引力引起的运动。因此，可以用时空的扭曲几何学来解释引力场。

著名的美国物理学家查尔斯·米什内尔（Charles Misner)、基普·索恩（Kip Thorne）和约翰·惠勒（John Wheeler）合作出版了一本厚厚的专著[《万有引力》(*Gravitation*.San Francisco: Freeman, 1973),共1279页]。这本书的开头有这样一个有趣的故事。

从前，有一个学生躺在花园里的一棵苹果树下，思考着爱因斯坦和牛顿关于重力的观点的不同之处。他被旁边掉下的一个苹果吓了一跳。他盯着这个苹果看，发现蚂蚁开始沿着苹果的表面爬来爬去。这激起了他的好奇心，他决定研究一下蚂蚁前进的路线是怎样的。

他注意到：两只蚂蚁从同一个起点P出发，沿着两个稍有不同的方向前进。它们前进的路线碰巧经过苹果顶端的凹陷处。两只蚂蚁分别处于凹陷处的两侧。每只蚂蚁都有意识地寻找苹果的最短程线。每只蚂蚁都尽可能地沿着直线前进，但是因为凹陷本身是不规则的，两条路线非但没有相互交错，反而是沿着两个差别很大的方向发展。

“能勾画出爱因斯坦的引力几何理论是多么令人高兴啊！”学生自言自语地说，“蚂蚁在前进的过程中好像受到了苹果的吸引……现在我想我对这本书的内容有了进一步的了解。”

作者们这样总结道：

空间作用于物质，决定物质如何运动。反过来，物质反作用于空间，决定空间如何扭曲。

这个故事中的每件事都极其不同寻常。一个看不见的扭





曲的四维空间，用几何学解释的万有引力，第一次物理学和几何学被直接联系在一起。对物理学上取得的成就作一番研究后你会发现：随着我们对时间的了解越来越多，各种发现与传统的差别越来越大，同时时间的概念也越来越难以形象化。当然，这也没有什么可奇怪的，因为自然是极其复杂的。我们不得不接受：我们向自然界的秘密王国钻得越深，我们为此付出的努力就会越大，其中也包括我们的想象力。“接受”这个词用在这里也许不十分恰当，也许更应该强调得是：虽然前进的道路越来越艰辛，但也越来越令人激动。

读者将会从爱因斯坦万有引力理论的另外两个方面得到有益的启示。

在牛顿的理论中，引力场只是由产生引力场的物体的质量决定的。爱因斯坦的理论指出：所有的能量形式都对万有引力的产生起作用，其中包括与物体的压力和张力及电磁场有关的能量。该理论的第二个重要预言是：当两个受引力作用的物质的运动过程中存在加速度，那么它们将会发生引力波，因为我们知道被加速的电荷会发射出电磁波。（很遗憾，我不能详细地说明什么是引力波。）

爱因斯坦理论的这两个预言明显区别于牛顿理论，但只有在很特殊的条件下它们才会有所表现，而在通常条件下，它们表现出的作用非常之小，完全可以被忽略。通常的条件下，爱因斯坦的理论和牛顿的理论实际上难以分辨。另一方面，在强引力场或引力场在快速变化的条件下，爱因斯坦的理论会得出和牛顿的理论截然不同的结论。这一点将在后面讨论。

在完成他的理论后不久，爱因斯坦就指出有三个效应，虽然在通常条件下很不明显，但在天文观测中可以观察到，



可以用来证实或推翻他的理论。

头两个效应的计算结果与牛顿理论关于行星绕太阳的运动及光在距离太阳表面很近处的前进轨迹的计算结果有一点不同，对观测数据进行一番比较后发现，这两个效应确实存在。比较的结果完全证实了新理论结论的正确性。顺便说一下，对这些效应进行观测的过程中发现：太阳周围的空间确实有轻微的扭曲，这部分空间的几何学和欧几里得几何学有一些不同。

第三效应与时间有关。因此，我会说得详细一些。

爱因斯坦的理论认为：在强引力场中时间会走得慢一些。这就是说，在太阳表面的时钟会比地球表面的时钟走得慢，因为太阳表面的引力要比地球表面的引力大得多。因为同样的原因，一个处于高空中的时钟会比处在地球表面上的时钟走得略微快一些。

为了探测和量化这一效应，已经做了很多的实验。我将描述其中的几个实验，首先是观察太阳表面时间变慢。

在观测中用来充当时钟的是化学元素的原子。当这些原子里的电子从一个原子能级跳到另一个原子能级时，就会产生一定频率的电磁振动，从而会在太阳光谱中产生一系列的吸收线。如果太阳表面上的时间确实走得慢，那么这些振动的频率就要降低，因此太阳光谱中的吸收线就会向红光一端移动。这种移动非常非常小，因为太阳表面上时间的相对减慢只有二万分之一秒。因此，光谱中谱线的移动也只有这样一点。这一效应叫做“引力红移”，实验的目的就是测量这个很小的移动。如果不是受太阳表面大量气体运动的影响，天文学家们可以可靠地测量到引力红移。

遗憾的是，由于太阳气体剧烈运动而产生的多普勒效应




掩盖了引力红移效应。天文学家们遇到了巨大的困难。第一次尝试是在爱因斯坦的理论发表后不久进行的，但是实验不怎么成功。只是在近期的这几年里通过对太阳光谱的分析，才最终证实了这一理论。虽然，太阳上和地球上时间流的速率差异非常之小，但是两个星球上经历的年数却有着显著的不同。已知两个星球大约存在了50亿年，但是地球上的时钟要比太阳上的时钟多走时1万年。

1968年，美国物理学家欧文·夏皮罗（Irvin Shapiro）通过一种极富创意的方法对太阳表面的时间减慢进行了测量。当水星正好处在与地球相当的轨道点上时，他把雷达波射向水星，雷达波束和被水星反射的雷达信号要从距离太阳很近的地方经过。因而，雷达信号往返所需要的时间要比水星不被太阳挡住时，雷达信号经过同样长距离所需要的时间稍长。这一时间延迟（大约为万分之一秒）能可靠地测量到。

天文学家知道一些比太阳密度大得多的星体，这些星体表面的重力场比太阳表面的重力场强得多。这些星体是中子星和白矮星。通过对它们发射出的光的时间减慢效应的观测，也证实了爱因斯坦的理论。

令人惊讶的是，即使处于地球的重力场中，在实验室条件下依然能测量到时间流减慢的现象。1960年，美国物理学家罗伯特·庞德（Robert Pound）和格伦·瑞伯卡（Glen Rebka）完成了这一杰作。他们比较了地面上和22.6米高的塔顶处的时间流。根据相对论，后者应该快一些。他们使用的“时钟”实际是一组极其精确的仪器，利用特定条件下精确频率的γ射线的辐射现象。相对论预言，两个不同高度下的时钟速率会有极其微小的不同：十亿分之三万秒。实验结果证明，差别的确存在，又一次证实了相对论的正确性。





16年后，在完全不同的条件下，又进行了一次类似的实验。实验中有一个能发射指定频率辐射的装置（被称为标准氢气频率发生器）被火箭送到1万千米的高空。在这样的高空，时间会比在地球表面上走得快。虽然差别很小，但是这一差别要比庞德和瑞伯卡实验中的差别大10万倍。该实验（火箭飞行）持续了2小时，但实验人员为这次实验已经紧张地工作了5年。与用爱因斯坦的公式计算的结果比较后发现：误差为二万分之一！

几乎与此同时，一些直接用时钟测量的实验也相继完成，其中的一些实验中使用的是非常精确的原子钟。

意大利物理学家用卡车把一些原子钟运到高高的山峰上，数小时后再把它们运回到山下，并把这些原子钟的读数和一直放在山下的原子钟的读数进行比较。实验发现：山下固定作参考的原子钟确实走得比较慢，这一结果符合爱因斯坦的理论。（两者的误差是纳秒级的。一纳秒为十亿分之一秒。）

在一个相似的美国实验中，一台原子钟被放置在一架普通飞机上，这架飞机在9千米的高度连续飞行了14小时。飞机降落后，飞机上的时钟的读数和地面上的参考时钟的读数进行了比较，比较的结果又一次证实了爱因斯坦的理论。

时间会在引力场中减慢这一点已经没有什么疑问了。大多数情况下，这种变化是非常非常小的。但是，天文学家和物理学家发现在一些特殊情况下，这种变化会变得很显著。

广义相对论完全改变了我们的时间和空间概念。奇妙的宇宙就是在这样一个多变的舞台上发展而成的。空间不是无限的、固定不变的框架，运动的物体不断使它扭曲，改变它的几何特性。我们祖先关于时间的一些不可改变的观念，已经越来越难以为现代科学所接受。我们已经知道，时间并不





是在任何地方都以同样的速度运动，时间之河在峡谷中流得快，在浅滩处流得慢。后面我们将会看到，时间之河是如何因为“当地”条件的不同而变成难以计数的以不同速度流动的支流、小溪和涓涓细流的。

# 第七章

# 空间和时间中的洞







当我开始认真学习广义相对论时（我已经快60岁了），没有人知道黑洞到底是什么，甚至黑洞这个词本身也没有在科技文献和流行的科学杂志上出现过。今天的情况和那时相比已经有了很大不同，几乎每个人都读到过或是听说过黑洞。黑洞是巨大引力的产物，当大量的物质强烈收缩后，由此产生的巨大的引力场使任何物质都无法摆脱它的吸引，即使是光也无法逃脱，物体都会因为它强大的引力而被吸入黑洞，没有任何方法使它们逃脱。

我是在前面提到的朗道和利夫席茨合著的一本专著中第一次读到有关强引力场的描述的。当我还是学生时，我就在泽尔曼诺夫的指导下对它进行了研究。书中的描述虽然比较简单，但却很清晰地指出了一个被强烈压缩的球体产生的强引力场的特性。德国天文学家卡尔·施瓦奇尔德（Karl Schwarzschild）得出了爱因斯坦为上述情况列出的方程的解。因此，这种引力场就被称为施瓦奇尔德场。

我记得当时我对上述成果并不在意，但我确实利用书中的一些公式及从泽尔曼诺夫那里学到的知识进行了一些计算。我需要重复一些爱因斯坦理论中极其复杂的计算，这些计算经常是由长长的公式构成，就像一片“森林”一样，结论的物理意义也常常被复杂的推导过程所掩盖。泽尔曼诺夫告诉



我物理学的基础是：要清楚地明白数学结论的物理意义。我想要说明的是，在研究当今最复杂理论的过程中，遇到的最艰巨的任务可能就是如何"提炼"出计算的物理意义。我非常感谢我的导师，因为他使我知道了什么是理解这么高深学问的基础。

我曾经计算过球体中心的质量对其表面物体的引力。计算结果有点特别。如果球体的半径很大，那么计算结果符合经典的牛顿定律。但如果质量相同，半径不断变小，那么计算结果就会和牛顿定律出现分歧，引力会逐渐变大，开始时引力只是稍微变大。我的一个重要发现就是：任何一个物体，当它的半径被压缩到某一值时，物体产生的引力就会变成无穷大。这一半径就叫做"引力半径"。物体的质量越大，它的引力半径就越大。但即使是天体规模的物体，它的引力半径也很小。按地球的质量计算，引力半径只有1厘米。按太阳的质量计算，引力半径也只有3千米。

在我的脑海中立即出现了一个问题，如果物体的尺寸小于它的引力半径，那么将会产生什么样的现象呢？乍一看来，引力会变得无穷大，但这毫无疑问是荒谬的。当然我去向我的导师求助希望得到满意的答案，但他只是说在物理学上这种物体应该是不存在的，并且他对这一论断从来没有给出过任何解释。我后来发现不仅仅是泽尔曼诺夫，其他所有人都没有仔细想过这个问题。这个问题就这样躺在科学的大道上。天文学家们也没有在宇宙中发现密度如此之大的物体，这一领域内的所有争论都被认为是毫无用处和毫无根据的，并且因为当时只有少数人真正掌握了广义相对论，天文学家们认为广义相对论与他们毫无关系，因为该理论只在超强引力场范围内适用，而在宇宙中并没有发现有这种引力场存在。我

无法忘记它给我留下的深刻印象。在成为一名研究生后，我决定认真地解决这一问题。

我的第一印象是：一个物体的半径确实不能比它的引力半径小。但是很快就意识到我犯了一个错误，在这本书的后面我将解释犯错误的原因。

1939年，美国物理学家罗伯特·奥本海默（Robert Oppenheimer）（后来领导研制了原子弹）和哈特兰·辛德（Hartland Snyder）对一个物体在自身的引力作用下越缩越小的现象给出了详细的数学描述。如果一个球形物体收缩到等于或小于它的引力半径，那么将没有什么外部力量能阻止它进一步收缩。事实上，如果当一个物体在等于引力半径时停止收缩，那么该物体表面的引力将是无限大。因为没有什么物质能抵御如此之大的引力，所以它还要进一步收缩。然而，这是一个很快的收缩过程，最终的结果是所有的物质都集中在中心，这时它们就不受引力的作用。

我们都知道，在自由落体过程中会产生失重现象。任何一个物体失去支撑时，就会处于失重状态。这一点对一个正在坍缩的物体而言同样是正确的，在它的表面不存在重力（重量）。一旦物体的尺寸达到引力半径，坍缩就无法避免，所有物质都无法抗拒地向中心聚集，这一过程在物理学中被称为“引力坍缩”。引力坍缩导致了黑洞的诞生，在引力半径以内的球形区域内引力非常大，连光线也无法逃脱。1967年，惠勒把这一区域定义为“黑洞”。

这个名字非常形象贴切，因而立即被所有科学家接受。黑洞的边界被称为“视界”。这一名称非常容易理解，因为没有信号能携带有关黑洞里发生的任何事件的信息越过这条界线到达观察者。外部观察者永远也不会知道黑洞里发生些什么。



(a)

空间

时间

(b)

空间

图 7.1

黑洞附近的引力非常非常大，但这不是全部。读者们还记得，在强引力场作用下，空间的几何特性要发生改变，同时时间也会变慢。

在靠近视界的地方，空间的扭曲程度变得非常之高，我们可以用下面的方法评价扭曲的程度：用有关二维的平面替换三维空间（我们取消第三维），这样会比较容易得出空间是怎样扭曲的。图7.1a用一个平面代表空旷的空间，如果我们现在把一个引力球放进这个空间中，那么这个球周围的空间就会稍微地弯曲（凹进）。现在假设引力球开始收缩，那么球表面的引力场就会逐渐变强。在图7.1b中，垂直轴表示观察者在球体表面测到的时间，随着引力的不断增加，空间扭曲的程度也不断增加，最后，当球体尺寸收缩到小于它的视界时，黑洞就产生了，空间的扭曲使凹陷的四周变得垂直。明显地，黑洞四周表面的几何特性和平面上的欧几里得几何有很大区别。如果我们站在空间几何的角度上看，那么黑洞确实像空间里的一个洞。

让我们现在来看一下时间的流动。我们越是靠近视界，对一个外部观察者而言时间就走得越慢，在黑洞的边界上，时间就完全停止了。这与靠近河岸的河水几乎不流动的现象相似。利布舍尔（D. Liebscher）教授在描述黑洞特性时首先使用了这个生动形象的比喻。

然而，如果有一艘飞船正飞向黑洞，飞船上有一名观察者，那么他看到的事情发生顺序将是完全不同的，黑洞边界上的极其强大的引力场会把飞船的速度加速到相当于光速。但是一个远距离的观察者会认为飞船在不断地减速并最终停止在黑洞的边界上。实际上，之所以会有这种映象是因为时间这时已经停止了。





当飞船的速度接近光速时，飞船上时间前进的速度会变得非常之慢，在任何一个高速运动的物体上都会有这样的现象产生。正是由于时间前进速度的减慢抵消了飞船下落速度的降低。飞船上时间不断变慢的结果就是：飞船到达黑洞边界的时间变得无限长。但是通过测定发现这段时间是有限的（相对远处的观察者而言）。相对远处的观察者而言，飞船落入黑洞的时间为无限长，而对于飞船上的观察者而言，这段时间被压缩成很短的一段时间。你看，对一个人是无限的而对另一个人却是有限的。

在对时间的运动的感觉上，这的确是一个奇特的转变。设想有一个观察者站在一个正在坍缩变为黑洞的球体的表面上，那么他看到的一切和飞船上的观察者看到的一切是一样的。

读者们现在也许已经清楚了，当我说“无法进入黑洞”时，我在什么地方出错了。我是用外部观察者的时钟测量这一过程的，所以得出这一过程是无限长的结论。而我实际应该用和飞船一起运动的时钟测量这一过程，通过测量可以知道，进入黑洞的时间是有限的而且这段时间还很短。

一个被黑洞吞没的观察者将无法再出来，无论飞船的火箭发动机如何强大，他也无法发出任何信息、任何信号，即使是宇宙中最快速的信使——光——也无法逃离。对外部观察者而言，飞船下落过程需要无限长的时间。因此进入黑洞后，飞船和飞船上的观察者都发生了哪些事，已经超越了外部观察者的时间（在他的无限时间之后）。黑洞是宇宙中的时间空洞。

我必须立即作一下更正：这并不意味着在黑洞内部时间停止了运动。时间仍在运动，但这是一种不同的时间，这种

时间的运动方式和外部观察者的时间的运动方式不同。

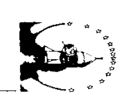
当我的研究生学业就要结束时，我写了一篇关于这种"不同"时间的论文，这篇论文至今还是我最喜欢的论文之一。我发现的要点是：一旦我们从外部空间转换到黑洞内部空间，只要把公式里的时间坐标变成空间径向坐标就行，反之亦然。换句话说，时间变成了空间辐射距离，同时这段距离就代表了时间本身。

读者通过仔细看图7.1b，可以对这一过程有一定的了解。当黑洞形成时，会使它周围的空间发生扭曲，扭曲空间的边缘变得和原有平面相垂直（图7.1b中最上面的一幅）。因为我们用垂直轴表示时间，这就意味着空间（径向）变成了时间。爱因斯坦的理论已经预示了这种奇妙的现象。

当我得出最后的方程时（结果只有一行），我与过去一样，立即就把它拿给泽尔曼诺夫看。泽尔曼诺夫只对论文看了两眼，就已经明白了一切。过了一会儿他对我说："拿去发表，立刻就去！"这对一个花了数月的时间反复思考，反复计算，并数年来一直渴望能发表自己论文的人来说，是一个莫大的奖赏。我就这样开始了黑洞物理学的研究。

在20世纪50年代，有关黑洞内部空间的问题吸引了其他国家的一些年轻物理学家，如芬克尔斯坦（D. Finkelstein）和克鲁斯卡（M. Kruskal）等，但是在我工作的初期，我对这些人一无所知。我不断取得进展，并成功地发现了一个自由物体是怎样在视界内运动的。在这个区域内，任何东西都无法静止不动，都被迫向中心下落，这个区域被称为T域，取这个名字是要强调它对时间的必然依赖性。即使现在，这个区域还会经常被提到。

科学家们喜欢他们创造出来的术语。如果忘记了说明是



谁想出了这个宝贵的术语，那将会有很多人为此感到生气。这表面上看起来非常的奇怪。想在理论上证明一件事很重要是非常艰苦的工作。如果一个人得出了一个前所未有的结果，从理论上证明了它的重要性，而且这一结果得到了广泛承认，难道这不比提出一个被同行广为接受的术语更令人感到满意吗？但现实中的情况往往与此相反，我就经常会碰到这样的事。我倾向于认为，一个科学家潜意识中会接受这样一个事实，世界上有数不清的优秀著作和论文，但只有少数名词术语能够得到普遍接受。

我还遇到其他一些类似的事情。在一篇论文中，我多次引用了著名的苏联天体物理学家什克洛夫斯基的话。他是我的老师也是我的同事，我俩的关系非常亲密。在那篇论文中，我提到了在宇宙形成早期时产生并一直保留到现在的辐射（我将在后面继续讨论这个话题）。当时在西方（有时也在苏联）的一些出版物上用的名词有些臃肿，如“微波背景辐射”。什克洛夫斯基建议称它为“原始辐射”，这个很有吸引力的术语得到了很多天体物理学家的赞同。至于我，我总是用它。什克洛夫斯基读完我的论文，给我打了电话。电话中他明显有些不高兴，他问我为什么没有提到该名词的作者。为了给我的省略作辩护，我真诚地、不断地重复说：这个术语为人们所知已经有很长时间了，而且在很多论文中都出现过，为了这一点小事也要说明是引自他的论文，将会有损于他在国际科学界的地位。但是，什克洛夫斯基却坚持认为：写明出处一点都不是小事。

我现在认为他是对的。一个闪光的、充满情感的术语有助于集中精力，吸引年轻和有经验的科学家或是激励那些已经在这一领域内工作的人。这是一种广告，在这一领域内工

作的每一个人都知道一个主题词的重要性。由于约翰·惠勒创造了"黑洞"这个词，才使得引力坍缩这个问题在专家中和所有关心科学奥秘的人中间流行起来。

怎样才能制造出一个黑洞？从表面上看这个问题并不难，只要把一个有一定质量的物体压缩到尺寸小于它的引力半径。当然这是完全正确的。但是，即使是一个质量非常之大的物体，它的引力半径也非常之小。例如，一个中等规模的山脉要被压缩到只有原子核那么大！因此，要想现在或是在可以预见的将来人为地制造黑洞是绝对不可能的。

即使是地球也得被压缩到半径只有1厘米才可以，以太阳的质量计算，引力半径为3千米。

经观测后发现，在自然条件下可以产生黑洞，并且黑洞的质量非常巨大。黑洞可能是一些质量足够大的恒星在生命最后阶段形成的。

这里不详细讨论恒星的演化及在它们生命结束时的命运。大致的过程是这样的：一个具有太阳质量10倍或10倍以上质量的恒星，在它演化的最后阶段，所有的核燃料都已经用尽。这时它就可能在自身的引力作用下收缩到尺寸等于引力半径，一个黑洞就这样产生了。天文学家们已经能比较肯定地说：已经发现了第一批由恒星变成的黑洞（我将在后面讨论如何鉴别和寻找黑洞）。天文学家们进一步肯定地认为：星系的中心区域是超级质量黑洞的诞生地。这些黑洞的质量可能是太阳质量的10万到10亿倍，或者更多。这些超级质量黑洞的形成可能是由于星系中心产生的巨大引力使相当大量的气体被压缩的结果。黑洞的另一种形成机制可能是：星系中心周围的一切星际物质一起被压缩。当然，不能排除黑洞有不同的形成机制。




20世纪60年代，当天体物理学家开始对黑洞产生浓厚兴趣时，理论物理学家就不得不开始面对崭新的、很复杂的问题。罗伯特·奥本海默和哈特兰·辛德通过一个球形物体的压缩过程来描述黑洞诞生的过程，然而，在自然界中不存在绝对理想的球形物体。一个非球形物体的坍缩过程是怎样的呢？

在我完成研究生学业并开始在雅科夫·泽利多维奇（Yakov Zeldovich）教授的小组工作时，这个问题引起了我的注意。我们组的领导、我自己和我的一位朋友多罗什克维奇（A. Doroshkevich，和我同岁）一起开始研究这个问题。工作结束后，得出的结果有些让人吃惊。计算结果显示：一个不旋转、不对称的物体在产生黑洞的收缩过程中很快就变得对称。引力场中任何和球形有区别的地方都会在形成黑洞的过程中随引力波飞散出去。最后产生的黑洞边界——视界是球形的，而且只能是球形的。

在1965年夏季，我在伦敦召开的国际万有引力大会上公布了这一结果。这是我第一次出国，第一次和西方专家一起严肃认真地讨论问题，也是新成立的泽利多维奇小组第一次在国家科学组织中公布研究成果。这次会议非常成功。我清楚地认识到，由于泽利多维奇在物理学方面超强的感知力，由于他对自然的奥秘有一种孩子般的热爱，这使得他在工作中持之以恒、坚持不懈、极其勤奋。他的工作热情也同时征服了他的学生，从而使我们的小组在一个崭新的科学领域——“相对论天体物理学”中处于领先地位。

在我公布了计算结果后，有一大堆同行围着我想要知道计算的详细过程。在这群热情的人中，我立即注意到一位身材较高、略消瘦、红头发的年轻人，一个典型的美国人，与

我想象中的一样。实际上，两三天前，我就已经注意他了。对我而言，他是在伦敦时另一个被我无意间听到谈话的外国同行。我现在还记得他当时在讨论圆柱形的引力场，因为他的谈话和我的研究有一些相似，所以他的谈话使我很感兴趣，但是我却无法立即就弄明白他所说的一切。在我和基普·索恩（Kip Thorne，那个年轻人的名字）相互认识后，他帮助我与那些想和我交谈的人相互沟通（那时我的英语水平连“很不完善”都谈不上）。然后，我们继续我们俩之间的交谈，迅速找到了共同感兴趣的科学领域，并且发现彼此对于世界的观点（俄罗斯称“相对灵魂”）有着惊人的相似之处，很快我们就成为了真正的朋友。无论是地理上的分隔（莫斯科和索恩居住的加利福尼亚之间相差11个时区），还是多年没有接触的事实都无法动摇我们牢固的友谊。现在，我在基普·索恩的著作《黑洞和时间扭曲》[*Black Holes and Time Wraps*（W. W. Norton & Co, 1994)]中发现，他对我们的会面有着同样的印象。

我们对社会现象的评价总是十分相似，同一个女人会同时吸引我们两个人，而且我们常常会同时开始研究同一个问题。在我访问基普·索恩的实验室期间（他是加利福尼亚技术研究所的一位教授），有一次我在他的研讨会上发表了一次讲话，就我的一位同行在近期发表的一篇文献上给出的理论依据提出批评。当我正要开始阐述我的观点时，索恩已经读过我的论文，他阻止我说：“伊戈尔，我知道你要说什么。”我们比较了彼此的观点，它们简直完全一样。这样的例子屡见不鲜。在我回国之前，我曾经询问过他是否能够解释为什么在我们的思想中会有这么多的共同点。索恩笑着回答说：“我们有着相同的背景，我们相互熟悉已经有25年了。我们彼此



都很了解对方的著作。”（索恩负责编辑泽利多维奇和我的天体物理学著作的英文版译文，而我则负责编辑他的著作的俄文版译文。）

上几段中对基普·索恩的赞扬之词是许多年前为这本书的俄文版而写的。现在，在英语版中，我很高兴能有这样一个机会利用这些话简要地概括俄文版出版后的许多年来我们之间的友谊。我下面的回忆可能会在普通人特别是在天文学家们当中引起不同的反响。也许是痛苦，也许是高兴。

下面就是我的故事。1990年，当时我是一位访问学者，住在哥本哈根，我得了微型心肌梗死。医生建议我进行一次彻底的心脏检查。回到莫斯科后我就去找专家看病，检查的结果证明我的病情很严重。但是他们很遗憾地告诉我，他们不会建议我在苏联国内对心血管进行全面的手术治疗，甚至没有建议我进行必要的检查。他们说：“太危险了。我们的医生非常好，但是至于其他……根据统计显示，手术后病人的存活时间并不比那些不做手术的病人的存活时间长。”这就是他们的建议。当时我已经知道著名的理论物理学家利夫席茨（E. M. Lifshitz）就是在进行了类似的手术后不久去世的。

我该做些什么呢？我肯定没有足够的钱到西方做手术。我妻子写信给索恩求助。索恩立即就与洛杉矶最好的专家安排好了一切。1个月后，在参加完在美国召开的一个会议后，我就来到了索恩在帕萨迪纳（加利福尼亚）的家。检查表明手术远比原先预测的要复杂，而且必须马上就做。索恩放下手中的一切工作，与夫人卡罗莉一起陪伴在我的左右。即使帕萨迪纳亨廷顿纪念医院的心脏病专家、主刀医师和首席麻醉师同意免收治疗费，但是索恩的个人存款仍不足以负担这个手术。于是，他写信给认识的物理学家和天文学家请求帮





助。消息传出后，很多同事、物理学家和天体物理学家们纷纷捐款，最终得到了足够的费用，手术也进行得非常顺利。手术后我恢复知觉时，我明白的第一件事就是索恩不断用俄语重复着："伊戈尔，一切都很顺利，非常好！"虽然我亲爱的女儿现在就坐在我的床边，她做了各种事情帮助我康复，但我心里非常明白是索恩的声音使我重获新生。

据说，伟大的物理学家列夫·朗道在一次重大交通事故中受了重伤。后来在医生、物理学家们及其崇拜者们的不懈努力下，他活了下来（不幸的是他不能再进行物理学研究了）。他后来反省道："我对我过去瞧不起人而感到非常遗憾。"我不能说在发生这一连串事情之前，我对人的品质看得特别低，但是我认为人们主要要把精力集中在自己的烦恼上，而且以"生活是艰苦和复杂的，你不可能照顾到每一个人"这种逻辑作为自己的人生信条。我错了。我现在高兴地发现人们远比我认为的"平均"标准要好得多。

我与基普及其妻子（他们之间的亲密与和睦令人感动）之间的深厚友谊，以及美国医生们的无私、关心及娴熟的技能，还有物理学和天体物理学界中的兄弟般的亲密关系，使我获得了第二次生命。我现在的身体非常健康，我时常从事我最喜爱的运动（滑水），但最重要得是，我还在从事物理学研究。我为此向所有给予我帮助的人表示衷心的感谢。

让我们回到20世纪60年代。伦敦会议结束后的第3年，基普到苏联参加在第比利斯（现属于格鲁吉亚共和国）举行的万有引力会议。他告诉我，虽然我关于非球形物体坍缩的理论引起了西方学者的浓厚兴趣，但并不是所有的西方理论物理学家都接受我的最重要的结论：非球形物体经强烈收缩后也能产生黑洞。著名的科学家沃纳·伊斯雷尔（Werner



Israel）就是许多对此表示怀疑的科学家中的一员。索恩指出：疑问来源于我们假设，物体形状与球形间细小的差异，当物体收缩到只有引力半径的大小时，其幅值不可能变得无限大。雅科夫·泽利多维奇在物理上的这个直觉促使人们相信这个假设是明显成立的，但是数学家想要得到证明，因而我开始证明这个假设。

1年后，索恩又一次来到苏联，并与我们小组一起工作了6个星期。当他离开时，我向他提供了他想要的证明。据我所知，直到现在没有人对这个证明提出异议。

我在论文中指出，如果一个球形物体的表面有稍许的“波纹”，并且该物体正向其引力半径坍缩，那么“波纹”会在坍缩过程中略有增加，但是不会非常显著。我们在上一次发表的论文中缺少的就是确切的证明。为了证明波纹一直都会保持很小，我想到了一个很简单的数学证明方法。但令我吃惊的是，我的西方同行们认为这种方法难以理解。这也许是因为我比较熟悉爱因斯坦理论中所谓“通解”的数学方法的缘故。这些构造方法是苏联物理学家（后来成为院士）的利夫席茨和伊萨克·哈拉特尼科夫（Isaak Khalatnikov）发展起来的。我还对苏联数学家阿列克谢·彼得罗夫（Aleksei Petrov）的著作很熟悉，所以我只需要修改和扩展书中的理念，并用这些理念来解决我关心的问题。*

下面这个例子又一次地显示出跟踪相关科学领域发展动态的重要性。

故事发生在20世纪60年代末期。当时美国和苏联科学

* 完整的黑洞理论是建立在很多理论物理学家辛勤工作的基础上的。不过，在这里我没有必要描写整个情况，也没有必要列出所有的名字。





家之间的相互交流要比如今少得多。每一次交流都非常重要，每次学术会议大家都进行十分详细的讨论。读者可以回想一下，当时苏联还没有用来传递信息的传真、电子邮件和电子网络，所有我们和西方同行的电话交谈都被严格控制。每次我们从国外带回的国外同行们的最新研究信息，对于使我们了解研究的进度、熟悉新的研究风格都是非常重要的，因为新的研究方法常常与我们的研究方法有很大的不同。没有什么比与世隔绝、缺乏与国际科学界之间的联系、无法与同行们进行经常的、彻底的交流更能阻碍科学研究。一个不进行科学研究的人无法体会到经常性的讨论、相互交换意见，即使是其他科学学派的同行们进行一般性接触，利用不同的技术和方法对于促进科学研究是何等的重要（假定这些研究人员都处在科研领域的前沿）。

1967年2月，参加完得克萨斯相对论天体物理学讨论会（因该会议的第一届会议是在得克萨斯举行而得名"得克萨斯讨论会"），我从美国回到莫斯科。这是我第一次去美国。这次会议在纽约举行，是该领域内的第二次会议，这次会议反映出理论天体物理学和观测天体物理学的形式已经有了巨大的改变。

有很多天体物理学家都已经意识到：自然界中存在着很多未知的物体。这些物体与天体学家们以前观测的物体有很大的不同，与普通的恒星、行星和稀薄的气体毫无共同之处。广义相对论认为这些物体产生了极大的引力场，这就是为什么称这些物体为"相对论物体"，以及会议名称为"相对论天文物理学讨论会"的原因。这次会议的主题主要是关于尚未发现的中子星和黑洞。

苏联科学院的代表团只有三个人：维塔利·京茨堡，爱



欧西夫 · 什克洛夫斯基和我，其他还有大约数百人参加了这次会议。虽然我们三人尽了最大的努力收集信息、与同行们交谈，但还是无法收集到使我们感兴趣的所有信息，尽管这已经是30年前的事了。现在，很多事已经向好的方向转变，后来的几十年里俄罗斯继续派天文学和物理学代表团参加国际会议，但是代表团的规模却比美国代表团的规模小，甚至比一些小得多的(较不发达)国家的代表团的规模还要小，基本上是几十分之一（有时竟是几百分之一！），这种所谓的“节约政策”对整个科学界都极其有害(我们的天文学家和物理学家在很多领域都处于领先地位)。近些年来（20世纪90年代中期)，因为得到了西方的经济资助，许多前苏联派出的科学访问团才得以成行。

在研究会后，我们被邀请参观了不同的研究中心。我去了普林斯顿，参观了高级研究院。爱因斯坦就是在这里度过了他生命的最后几十年。我和索恩一起应约翰 · 惠勒的邀请住在他的家中(索恩曾经是惠勒的学生)。通过与不同的物理学家们的接触，我发现西方对进行相对论物体的研究很重视。

我要强调得是，雅科夫 · 泽利多维奇和奥克泰 · 侯赛因诺夫（Oktai Guseinov）在1965年倡导建立一个研究宇宙中的相对论物体的研究组织，后来有一位来自阿塞拜疆的很年轻的天体物理学家加入了我们这个小组。下面就是在研究这类物体时我们遇到的各种困难。

当时，理论上只知道两种相对论物体：中子星和黑洞。由于中子星的直径只有大约10千米，所以即使它们的表面温度很高但发出的光却很弱，而黑洞则被认为是不发出任何物质。因此我们对探测到距离我们很远的中子星或黑洞不抱什么希望。





我们该怎样寻找它们呢?

苏联物理学家弗拉基米尔·布拉金斯基(Vladimir Braginsley)和亚历山大·波尔纳热夫(Aleksander Polnarev)曾经开玩笑说，讨论这样的问题，有时听起来就像是刘易斯·卡罗尔(Lewis Carroll)写的《爱丽丝漫游镜中世界》(*Through the Looking Glass*)中国王和爱丽丝的对话一样。

“沿着路看，告诉我你是否看见他们中的任何一个。”

“我在路上没有看见任何人，”爱丽丝说。

“我只想有这样一双眼睛，”国王说……“能够看不见任何人！即使是在这样的距离！”

实际上，泽利多维奇和侯赛因诺夫注意到，看不见的相对论物体要产生强大的引力场，可以通过这种引力场精确地探测到它们。他们的观点是：相对论物体一定存在于双子星系中，因为在这种星系中由看不见的物质产生的引力影响了它附近恒星的运动，可以通过可见恒星运动轨迹上的怪异之处推测出有看不见的同伴存在。

在熟悉了泽利多维奇研究小组的工作以后，索恩为这个能在宇宙中发现相对论物体的想法而感到兴奋。这是一个苏联的科学研究激励美国物理学家的例子。索恩和弗吉尼亚·特林布尔(Virginia Trimble)一起发表了一份恒星的名单，在这些恒星的附近很可能存在着能产生强大引力场的看不见的同伴的存在。唉！通过对这份名单中的恒星以及其他天文学家提出的可疑恒星的研究，没有找到相对论天体。1967年，一位英国的天文学家偶然发现了一颗中子星，并观测到它的独特的射电发射特征。

寻找黑洞的进程远远落后了。泽利多维奇和我在1966





年，什克洛夫斯基在1967年分别指出：黑洞（和中子星）很可能是一个强大的X射线辐射源。如果有一颗普通的恒星距离黑洞很近，就会产生上述的结果。根据现在已被广泛接受的理论，黑洞产生的强大引力会迫使邻近恒星大气中的气体螺旋形地流向黑洞，从而形成一个压缩气体盘。由于不同气体层之间的摩擦，气盘中心的气体温度会达到数千万度。在气体被黑洞吸入之前，它会放射出X射线。

X射线辐射，使黑洞变得可以被观测。

1972年第一次在双子星系中发现X射线源。它们中的一些被证实为中子星，而除此之外的X射线源被绝大多数专家认为是黑洞。对于那些对黑洞名称的由来和黑洞的天文发现感兴趣的读者，我向你们推荐沃纳·伊斯雷尔写的一篇极好的文章，名称是“黑暗的恒星：一个思想的演变过程”，发表在《万有引力300年》[*300 Years of Gravitation* (Cambridge: Cambridge University Press, 1987, p. 249)，由史蒂芬·霍金和沃纳·伊斯雷尔编辑]上。

在此之前不久，我遇见了英国科学家史蒂芬·霍金。他后来成为本世纪一名杰出的物理学家，而且还毫无争议地成为了一名伟大的黑洞学专家。霍金这个名字现在已经是家喻户晓了，即使是那些因读过他写的畅销书《时间简史》（*A Brief History of Time*）而对物理学产生了一点兴趣的人也知道他的名字。目前已经出版了很多描写他的书及文章。我确信对于这本书的读者来说，他的名字一点都不陌生（实际上，是因为对物理学和天文学感兴趣才使你被这本书的标题所吸引，对不对？）。但是我要简要地描述一下他的科学发现和我们之间的几次会面给我留下的印象。1972年我们见了一次面，当时我正参加在英国南海岸城市布赖顿举行的国际




天文学联合会大会。一位年轻的英国天文学家马尔科姆·伦盖尔(Malcolm Longair),后来成为英格兰皇家天文学会成员,他花了很多时间在泽利多维奇小组中接受锻炼,还邀请了一些苏联代表团访问天文研究院和剑桥著名的射电天文观测站。一位年轻的研究人员贝尔(S. J. Bell)和她的导师休伊什(A. Hewish)就是利用这个观测站发现了一个射电脉冲发射源。3年后,证明这个发射源是一颗中子星。

我看着那架不同寻常的射电望远镜,研究人员们凭着单纯和不加掩饰的好奇心,通过它才发现那颗中子星。这架射电望远镜占地面积大约有1.62公顷。为了建造这架望远镜,在地上挖了数个洞,在这些洞之间水平架设了许多金属线,构成了它的天线。这架望远镜由托尼·休伊什(Tony Hewish)设计,并在他的指导下建造完成。在天文台和有关学生的帮助下,这个巨大的工程才得以实现。这个有趣的"机器"使得研究人员们可以发现那些具有十分强大引力场的天体。要摆脱这类天体的引力约束,需要以接近光速的速度运动才行。

中子星的确是研究众多令人迷惑现象的实验室。例如,它们的磁场非常之强,表面上每立方厘米的空间里具有的能量相当于100克物质的质量!它们的密度比水的密度大100倍,而且比自然条件下的任何矿物质及化学元素的密度都要大。值得注意的是,这仅仅是我们习惯上认为是非常短暂的磁场。

由于强大的引力场,时间在中子星表面的运动速度比地球上的时间的运动速度慢1.5倍。在中子星的中心,时间要比我们的时间慢2.5倍。

在去剑桥的路上,我和伦盖尔一起到史蒂芬·霍金的家



去拜访他。因为霍金已经得了一种叫做"肌萎缩性脊髓侧索硬化"（ALS），而且病情严重，所以我们只有在他家里才能见到他。这种病会影响病人的中枢神经系统，使病人的肌肉逐渐变得萎缩，并在数年后置病人于死地。霍金在他20岁出头时得了这种病，当时他刚完成博士论文。毫无疑问，病情发展的消息对他来说是一次沉重的打击。他看不出获得物理学博士学位还有什么意义，他把科学抛于脑后，并开始酗酒。幸运的是，病情发展的速度减慢了。命运还送给他一份珍贵的礼物：他遇见了一位迷人的姑娘简，很快就和她定婚了。这是他生命的转折点。后来他回忆到："如果我要想结婚，就得找一份工作。为了能找到一份工作，我就得获得物理学博士学位。我开始有史以来第一次勤奋地工作。令我吃惊的是，我发现我喜欢这样。"[《时间》（*Time*），1988 年 2 月 8 日]

我访问剑桥时，史蒂芬·霍金已经因为其对宇宙膨胀初始阶段（我们将在后面讨论这个话题）的分析而闻名于世了。你只需要几分钟就能忘记是在一位病得很重且不能活动的病人的旁边，他的眼睛闪烁着吸引人的光芒。你会立即感受到他那渊博的知识，爱上他那双动人的眼睛。

由于他说话很困难，因而我几乎听不懂他在说些什么。但伦盖尔已经和霍金相互交谈了多年，所以他帮助我理解霍金都说了些什么。当时我向他讲述了我和泽利多维奇在莫斯科想要做些什么，由于某些原因，我认为霍金不会对数学方面的细节感兴趣，因此我说我将省略这一部分。但是他笑着反对说，这些细节才是最重要的事。当时我们都在宇宙论上花费了很多时间。通过这次谈话，我感觉到他已经把研究重点转向黑洞领域。对我而言，我一直都相信：解开自然界中许多神秘之谜的关键和黑洞有关。





幸运的是，霍金的病情多年来一直比较稳定，尽管当初医生诊断的结果表明病情非常严重，但他还活着并且还在不停地工作。虽然现在他丧失了对绝大部分肌肉的控制力，但我觉得他的智慧却变得更加深刻。他现在只能利用左手的手指控制一张特制轮椅的电钮，才能移动他自己的位置。他已经丧失了说话的能力，只能通过电脑和别人进行交谈。尽管如此，他仍具有很强的幽默感，仍旧开朗乐观、充满活力，常去郊游，去剧院看戏，去饭店吃饭，邀请朋友到家中作客。他总是被人们包围着。

但最重要的是，他像别人一样辛勤地工作，总是能一个接一个地想出很多与众不同的想法。科学界无不为他广博的思想折服。

霍金曾经访问过苏联很多次。他最后一次访问苏联是1988年，去参加一个为了纪念宇宙膨胀学理论创始人亚历山大·弗里德曼（Aleksander Friedmann）的诞辰而在列宁格勒（现在名为彼得堡）举行的一次国际会议。霍金在会上发表了一次演讲，会后他参加了几次郊游并游览了整个城市。在会议进行期间，我和他一起参加了苏联电视台的采访。

霍金有三个孩子：两个儿子一个女儿。非常巧合的是，霍金出生于1942年1月8日，300年前的同一天伽利略去世（他自己也时常提到这一点）。

下面是他对自己一生的简要概括：

我除了不幸地得了ALS之外，其他方面都比较幸运。我的妻子简和我的孩子罗伯特、露西、蒂米给予我极大的帮助，使我能像正常人一样过着正常的生活并在事业上取得成功。我又一次很幸运地选择了理论物理学，因为它是我思想的全部。科学界的同事和同行们无一例外地给予我极大的帮助。





我们的第二次会面是在1972年。数位被邀请的学者在法国阿尔卑斯山区的莱苏什国际学校讲授黑洞物理学，我和霍金也在其中。霍金和他迷人的妻子及两个幼小的孩子一起前去。简没有忘记我曾经说过我儿子很喜欢玩具小汽车，那次她特地为我儿子带了一辆精致的小玩具车（那时在苏联这种玩具车很少见）。当时霍金虽然说起话来已经有些吃力，但是他还可以用正常的嗓音讲学。在授课之前，他把要讲的主要内容口授给助手，然后助手把这些要点传达给听众，授课时他只需要清楚地说明这些要点就可以了。

我们常一起参加在学校礼堂举行的晚会，一起谈论科学和生活。霍金回忆起年轻时他的身体是多么健壮匀称。我痛苦地觉得命运对待这样一个精力充沛、快乐、充满智慧的人是多么的残酷，即使在这样的状态下，霍金甚至比易激动的年轻意大利教授卢费尼（R. Ruffini）更加精力充沛，卢费尼也在莱苏什讲学。后来我们讲学的内容被编写成书，这是第一本全面介绍黑洞物理学的书，这本书的出版成为进一步大量研究的起点。

关于黑洞的新观点的主要特征是，黑洞不再被认为是一种属于物理学家的“墓地”——“万有引力墓”的东西，而被认为是一种可以下沉并能从外部观察者眼前消失的物质。实事求是地说，黑洞产生的强大的引力场与其周围的介质相互作用，产生了激烈的物理过程。卢费尼过去常说：黑洞是“非常活跃的”。例如，被加热气体在气体盘中流动，螺旋状地围绕作为双子星系一个组成部分的黑洞四周，一定会发射强烈的X射线。

前面已经提到过，第一个双子星系里的X射线源是在1972年发现的。它们中的一个天鹅座X-1（X代表X射线，

天鹅座代表射线源所处的星座，1是该射线源的编号）显示出在它当中有一个质量为太阳质量10倍的黑洞。

当然我们仍在莱苏什花了大量的时间讨论这些新发现。当时紧迫的任务就是找到一个时间和空间里的洞。我们的小组分成了两派：乐观派和怀疑派。乐观派坚定地认为这个发现是肯定的。怀疑派则坚持要谨慎，重新检查观测数据。

对我而言，我全身心地接受这个发现。回过头来看，我仍旧认为我的结论没有使我误入歧途，虽然这些年来我已变得越来越谨慎。索恩也是被邀请的学者之一，与我有相似的观点，但他认为观测数据还需要进一步的验证。2年后得出了一些关于天鹅座X射线源的新情况。索恩写信给我说：新的数据使他和其他很多天文学家接受了在天鹅座X-1中确实存在着一个黑洞。

史蒂芬·霍金对这段往事记忆犹新。他在1988年写下了这段往事。

“看起来黑洞是对观测数据惟一自然的解释。尽管如此，我还是与加利福尼亚科技研究院的索恩打赌，说在天鹅座X-1中不存在黑洞！这是我为保险起见的一个策略。我对黑洞已经进行了大量的研究工作。如果这次证明黑洞不存在，那么我所有的工作都白干了。但是这次我还是希望能够赢得赌注，因为这样我就得到4年的《私家侦探》(Private Eye)杂志。如果黑洞确实存在，那么索恩将会得到1年的《阁楼》(Penthouse)刊物。1975年我们打赌时，我们80%肯定天鹅座是一个黑洞。现在我应该说我们95%可以肯定，这个赌也应该分出个输赢了。”

这个赌注已根据最严格的规则付清了，而且还被一家官方杂志报道。为了让读者们更好地理解这次赌注的幽默所在，





我要指出的是赌注中提到的杂志与科技出版物风马牛不相及。严肃地说，我认为霍金对发现黑洞这条消息的可靠程度的估计是完全正确的。现在我要说我对这条消息可靠性的估计接近100%。当然，天文学家们是非常谨慎的，因为这次发现不仅仅是意味着发现另一种天体，更意味着在空间和时间中存在着空洞。

故事还没有结束，1987年索恩和霍金这次赌博的事和沃纳·伊斯雷尔的文章一起在《万有引力300年》刊登。在文章里还加了这样一个标题："1974年12月史蒂芬·霍金和索恩打了这个赌，至今双方都还没有赢得赌注"。1991年秋末我打电话给索恩，我说："基普，难道你不认为这是你赢得赌注的时候了吗？从发现天鹅座X-1到现在大约已经20年了。所有的事实都告诉我们它是一个黑洞，其他一些后选黑洞也已经被发现，这已经是够谨慎了！这就像是唯我论者的哲学观点，他怀疑他身边这个世界是否存在，因为他无法用纯逻辑肯定地证明这个外部世界不是个人头脑中想象出的一幅画面。"

基普笑着说，我也会笑的，因为他已经赢得了赌注。霍金已经把杂志寄给了他，而且当这些杂志到达他的办公室时，他的秘书着实吃了一惊。

我非常吃惊："你是否是说，斯蒂芬宣布黑洞已被发现，而且还通过这种非常规的方式'正式'肯定这一态度？"

基普谨慎地说，他也不能肯定，但是很有可能是的。因为他得到了一张以霍金的名义写的字条，在打赌的事情上做了让步。基普在转述别人说的话时总是非常小心。

"好极了，"我说，"但你怎样认为？你是否认为黑洞确实已被发现？"

基普以一种理论物理学家的谨慎方式回答道，因为在过去的3年里，没有关于天鹅座X-1的很重要的新数据出现，所以与过去一样，他认为在天鹅座中存在黑洞的可能性是95%。但是如果谈到在天鹅座X-1中存在黑洞及一些新的后选黑洞假说的话，他肯定会举手表示赞同的。

"OK，"我说，"我现在正在准备畅销科普图书《时间之河》(*The River of Time*)的英文翻译。你是否愿意寄给我你现在的估计，要手写的，这样好放在我的书中，并记入史册？"

下面就是基普写给我的原文：

我估计在天鹅座X-1中存在黑洞的可能性是95%；其他后选黑洞中存在黑洞的可能性为99%。

致以最好的祝愿！

基普

附：请不要问我后选黑洞中的哪一个是黑洞，我不知道！

难道这里不是一个让我们回想起牛顿给他的朋友阿斯顿的建议的合适的地方吗？他说：在旅行过程中可以问问题，可以提出疑问，但要避免下定论，也不要进行争论。

我们现在可以回到研究这些吸引人的物体的物理学上来，我们将主要关心时间在它们当中是怎样运动的。

我曾经提到，对一个外部观察者而言，时间在黑洞边界上的运动速度会减慢，就像河水运动的速度在河岸边会减慢一样。

看起来我们可以不用关心黑洞里发生了些什么，实际上我们也看不到里面，也无法从里面得到什么信息。因此似乎黑洞的内部世界和我们的世界之间被一层无法穿透的障碍隔



(a)

黑洞

白洞

(b)

黑洞

我们所处的
宇宙空间

另一个宇宙空间

白洞

图 7.2

开了。事实上这一结论只有一半是正确的，黑洞的边界是半透性的：进入它是允许的，想离开它是不行的。当一名观察者和他的飞船一起落入黑洞后将会发生些什么？我们知道他们无法离开，无法抗拒的强大引力会把他们引向黑洞的中心，那时他们的命运将会怎样？

理论物理学家们认为：观察者可能会穿过黑洞的宇宙通道，从另一个宇宙通道重新回到我们所处宇宙空间中，远远离开他落入的那个黑洞（图7.2a），或者他会进入到另一个宇宙的空间中（图7.2b）。

如果这是可能的，宇宙中除了黑洞以外还将存在“白洞”：那些会“吐出”观察者的另一个咽喉，白洞只会向外抛出物体而不允许物体进入，黑洞和白洞就像城市中的单行道一样。咽喉常被比喻为隧道，只不过这些是时间中的街道。

我在1963年通过纯数学手段发现了白洞。当时我正在试图寻找类星体中巨大的能量释放源（类星射电源，它们向外强力发射着某些星系物质的原子核）。在我发表有关白洞的论文后1年，著名的以色列物理学家内埃曼耶（Y. Neemanye）也发现了白洞，他为基本粒子理论做出过重要贡献。但此后不久他就把精力转向政治，成为他们国家里一个重要的政治人物。因此我一直都没有机会和他一起讨论白洞。

在我发表关于白洞的论文前很久，约翰·惠勒和他的学生就已经讨论过连接不同黑洞的“隧道”问题。我将在“逆向时间长流”一章中讨论这个问题。

我关于宇宙通道的理论受到教授安德烈·德米特里耶维奇·萨哈罗夫（Andrei Dmitrievich Sakharov）*的赞赏，

* 萨哈罗夫（1921～1989）：著名的苏联物理学家，苏联氢弹之父。





他当时对万有引力和宇宙学越来越感兴趣。现在这位20世纪的传奇人物已经是家喻户晓了，但那时他只被为数不多的研究核武器的物理学家们知道。当时安德烈·德米特里耶维奇·萨哈罗夫正在完善他的宇宙学理论，这一理论涉及的领域和我的研究领域有部分交叉。我们俩和雅科夫·泽利多维奇一起讨论这些问题，后来我们三人一起在应用数学研究院的预刊上发表了论文“相对论坍缩和宇宙拓扑结构”（1970年）。我对这篇论文非常满意。在这篇论文中，安德烈·德米特里耶维奇认为物质被压缩导致黑洞的产生，随后黑洞会在“另外一个”宇宙中膨胀。这篇论文发表后不久，萨哈罗夫担任我的理学博士学位评定委员会委员。

我将在后面讨论他关于时间本质的想法。这里我想对他个人作一些描写。

我们第一次见面是在1963年，他的外表和举止一点都不像一位伟大的科学家或物理学家。在此之前我已见过许多知名的物理学家，但是他和他们很不相同。例如，我的导师阿布拉姆·泽尔曼诺夫是一位外表整洁、行动缓慢、举止优雅的人，一位典型的旧式学院派科学家的化身。意大利的卢费尼是一位脾气火爆的南方人，1972年在莱苏什讲课时几乎都快要“飞了起来”。在阐述他的“活黑洞”观点时，他的眼中充满着激情的火焰，汗水浸透了衬衫，全身上下沾满了粉笔灰，还不断地从黑板的一端跳到另一端。索恩优雅轻松的举止和他说话时准确的用词给我留下了深刻的印象。我第一次与默里·盖尔－曼（Murray Gell-Mann）交谈是在1967年的费城，至今还记得和他会面时的戏剧性场面。理查德·费恩曼（Richard Feynman）的介绍总是很富有艺术感而且很迷人。在我们一起游览迪斯尼乐园时，他敲击栏杆演奏了一




首小调，那样子简直与他那张和鼓一起照的著名照片一模一样。他的样子一点都不像一个物理学家，也不像一位诺贝尔奖得主。

我认为所有这些不同点都不能阻止一个物理学家“第一眼”就认出他的同行。有一句俄罗斯谚语这样说：“一位渔夫可以在很远处辨认出另一位渔夫。”

但这一规律在安德烈·德米特里耶维奇·萨哈罗夫面前就失效了。我们第一次会面那天，他敲天体物理学分部（只有一间房间）的门时似乎有些胆怯，这个分部是最近才由雅科夫·泽利多维奇在莫斯科数学研究院应用数学学院里创建的，后者由姆斯季斯拉夫·克尔德什（Mstislav Keldysh）和苏联科学院主席领导，本身已经是一个庞大的研究机构，几乎只进行为军事目的服务的研究工作（按苏联的说法是“禁止讨论的话题”)。我们的天体物理学分部和其他部门没有直接的联系，之所以要创建这样一个部门，一方面是因为泽利多维奇是一位很“知名的科学家”，而且一直向往着能开展这一领域里的研究工作；另一方面克尔德什对泽利多维奇的工作评价很高，而且很乐意请他到该研究机构工作。

下面继续讲述萨哈罗夫的来访。那天快下班时，有一位身材较高、体型较瘦、穿了一件破旧的且不太干净的棉大衣的陌生人走进了我们的房间。当时我正在专心致志地进行计算，精力一点都没有放在周围的琐事上，而且为这次令我分神的来访感到非常生气。这位不知名的来访者看起来有些古怪，尤其是他那双眼睛更是非常古怪。在我参加泽利多维奇的小组以前，曾经在莫斯科天文研究院工作过一段时间，那是一个极为“开放”（不是秘密单位）的研究机构，与我们当时工作的机构正好相反。天文研究院吸引了很多业余天文爱



好者，他们常到那里验证在家里想出来的关于太阳系或是整个宇宙起源的假设，这些假设充其量也只是建立在高中物理的基础上。绝大多数的情况是，这些人根本就不知道什么是科学，但无一例外地热中于自己的观点。有时候甚至达到痴迷的程度。

安德烈·德米特里耶维奇·萨哈罗夫的外表，特别是他的双眼，使我想起了那些不受欢迎的来访者。我不想让读者认为在他的外表中有什么“不正常”的地方，其实一点也没有！但是他看着你的方式使你怀疑他能看到比我们周围这个世界更多的东西。我后来明白了是什么使我回想起那些业余天文爱好者，是他脸上和眼睛里“不同寻常”的表情和眼神以及他随便的穿着。我敢说他看你的方式与达芬奇的蒙娜丽莎看你的方式一样不同寻常，即使没有她那种高深莫测的微笑。

我已经说过，我因为注意力被分散而感到恼怒。因为想到可能将要与一个业余天文爱好者进行一次乏味的谈话，我几乎忘了没有业余爱好者能进入这个“密闭”的研究院。我对那个很普通的问题“这里是不是泽利多维奇的部门？”的回答，是叫他先回到底楼检查一下外衣后再回来。“是的，当然。”访问者用他那现在已经为人们所熟知的轻柔的声音说，接着转身离开了。当门关上后，我的一位同事安德烈·多罗什克维奇，他曾经和萨哈罗夫在一个很秘密的地方一起工作过，向我表达了他的不满：“你是不是疯了？你怎么能用这种方式对待萨哈罗夫！”

我真的非常震惊。由于他的研究工作非常秘密，所以我对他在科学上的成就知之甚少。虽然我对他了解不多，但这已经足以使我对他的研究成果感到畏惧，而且因我的唐突而

胀得满脸通红。

从此以后，萨哈罗夫经常光临我们的实验室，他来实验室的目的是为了和泽利多维奇讨论物理问题而不是找多罗什克维奇和我。当时我和多罗什克维奇还只是泽利多维奇的年轻助手，虽然我们每次都在场，但基本上只听不说。我们几乎没有听说过也很难理解他们讨论的问题，对我而言（对别人可能也一样），他们讨论的对象极其抽象，与可以想象得到的实际情况有很大的差别。今天，全世界都知道萨哈罗夫在社会生活中的重要事情上从不妥协。事实上，可以从他科学思想的演化过程中感受到相似的对外界压力的自主性。我认为，在他的思想发展过程中，他从来都没有对传统观念进行过妥协。他解决科学问题的方法决非仅仅只是“反传统的”。

例如，萨哈罗夫从理论上建议，从万有引力常数能够描述“真空弹性”的假设出发来计算该常数——自然界中为数不多的几个“基本”常数。很古怪，是不是？但是从当今物理学（萨哈罗夫发表建议后的数十年）的角度出发，这一想法并不像表面看上去那么古怪。

我不知道这种不同寻常的解决科学问题的方法是否取得了丰硕的成果，但毫无疑问，没有第二个人能以这样的方式工作。从这一点看，萨哈罗夫也许有些像爱因斯坦，但我不准备就这方面提出我个人的观点。

当萨哈罗夫从研究我不太了解的基本粒子物理学和场论转为研究黑洞物理学时，我非常自信地觉得，我理解他思想的可能性显著地增加了，但即使这样，他的推理逻辑还是非常令我迷惑不解，事实上不仅仅是我一个人感到迷惑。我想起了下面这个故事。

安德烈·德米特里耶维奇·萨哈罗夫在我们的研讨会上





进行了一次发言，发言的内容是关于空间里的宇宙通道的可能特征（我们在前面已经讨论过这个问题）。当时在我们小组中约有10名年轻的同事，我们静静地听着。雅科夫·泽利多维奇经常研究这一问题，因而不断提出一些委婉的反对意见。后来，他被萨哈罗夫对这一问题的离奇的方法惹恼了，从某种程度上讲，是"离奇"（萨哈罗夫的方法）乘以"离奇"（话题本身）。泽利多维奇觉得这样只会使物理学变得"错乱"。萨哈罗夫讲了一段时间后，泽利多维奇开始显得有些不耐烦，但他没有打断发言者的发言。提问和争论在我们的研讨会上是司空见惯的事。时常在发言中间会爆发激烈的争论，而且持续的时间比发言本身的时间还要长。这次会议之所以反常，是因为听众的沉默，尤其是泽利多维奇的沉默。最后他站起来走到椅子后面，并靠在上面，萨哈罗夫用询问的目光看着他，但泽利多维奇仅仅是对他摇了摇手：不用管我，请继续你的发言。萨哈罗夫讲完了。"就这些？"泽利多维奇问。"是的，这些就是我计划要讲的，"萨哈罗夫眨着眼睛轻声回答道。泽利多维奇立即要来一张报纸，仔细地把它铺在地上，在我们难以置信的目光中，他跪倒在萨哈罗夫面前，双手合在一起成崇拜状，然后高声说："安德烈·德米特里耶维奇，请不要再说这些废话了！"

萨哈罗夫和泽利多维奇之间的关系并不总是那么亲密。泽利多维奇时常反对前者在社会活动中的所作所为。萨哈罗夫在泽利多维奇的葬礼上说："我们有过友谊，我们有过对立，我们有了我们该有的……"我想要强调的是，虽然泽利多维奇有时会不同意萨哈罗夫的一些科学观点，但他一直都认为萨哈罗夫是一位伟大的物理学家。同时，萨哈罗夫也很敬佩泽利多维奇的才智。





在回到白洞和宇宙通道这个话题之前，我还想就萨哈罗夫再说几句。他给我的感觉是，无论在科学上还是他的社会角色都像一位圣者（至少这是他现在给我的印象）。他置身于许多日常问题世俗的一面之上（对他而言是世俗的，对我们及普通人而言则不是），不是对这些事漠不关心，而是已经超越了它们，知道我们前进的方向。我还没有见过第二个人能像他那样，无论在科学上还是在生活中都能保持内心的平静、坚定和肯定。我第一次见到他时，他眼中那不同寻常的眼神可以用你看到了“一双圣人的眼睛”来形容。

我对萨哈罗夫的这些印象与我的老同事爱欧西夫·什克洛夫斯基教授的一位美国同行对萨哈罗夫的评价不谋而合。这位美国人与萨哈罗夫一样也参加了氢弹的研究工作，不同的是他为美国工作。

> 我所说的人是菲尔·莫里森（Phil Morrison），美国当代优秀的天体物理学家。目前病情很重，几乎已经到了无药可救的地步。莫里森在40年前就已经认识到科学家的诚实和正直与为战争服务是不相容的。莫里森由于一件丑闻被迫从洛斯阿拉莫斯实验室辞职，这件事的后果非常严重，但这并没有打垮他。在离洛斯阿拉莫斯数百英里远的一家墨西哥餐馆中我们面对面地坐着。我看着他那双蓝色的、极为孩子气的、清澈的眼睛，这是一位具有水晶般纯洁良知的人才会有的眼睛，这双眼睛使我从内心深处感到了温暖。
>
> 什克洛夫斯基（*Echelon*，1991）

我们能否说萨哈罗夫的说法可以理解，但却是错误的？对任何一位知道科学是怎么一回事的人来说，这个问题很奇怪。任何一位物理学家，即使是一位成功的物理学家，都不可避免地会犯一些错误。但是，绝大多数对科学研究一无所




知的人都坚定地（常常是无意识地）认为：天才就意味着知道每一件事，而且说的每一句话都是真理。这种观点是极其错误的。一位科学家，即使是一位天才，也不可能是一位预言家。他会在探索真理的过程中犯一些错误，否则就不可能得到真理。探索真理的过程是一刻不停地思考，是计算，是不断地反思。它是一种折磨，同时也是快乐。因而，错误是不可避免的。你不会发现科学以它完美的形式出现。歌德说："探索者无法避免误入歧途"。

是的，萨哈罗夫也承认有错误，但是，就像与他相关的所有事情一样，他犯的错误也都不是普通的错误。

有一次，在讨论普通星体和黑洞在未来宇宙中的命运的过程时，萨哈罗夫说：宇宙中的所有物质迟早都要被散布在宇宙中的黑洞吸进去。听到这话，我的脸立刻就拉长了。泽利多维奇也感到有一些疑惑，他说："安德烈·德米特里耶维奇，宇宙正在膨胀，物体间的距离正在拉大，不同星体之间发生碰撞的可能性以及星际间星云原子碰撞黑洞的可能性正在日益减小，只有很少一部分物质会被黑洞吸入。"

萨哈罗夫用一个玩笑巧妙地回避了这个问题。他说："我不可能知道单个微粒的命运，正如一个将军不可能知道每个士兵的命运。我只遵循最基本、最主要的战略。"他在这种情况下的典型反应是说个笑话。莫斯科的理论物理学家列夫·奥昆回忆起类似的一个笑话：

我和萨哈罗夫讨论沃洛申（M. B. Voloshin）、科布扎列夫（I. Yu. Kobzarev）和我三个人一起向一本杂志投稿的论文。这篇论文主要的观点是：真空是不稳定的。例如，在我们的实验中，当真空通过一条量子力学隧道时，在隧道中会产生微小的气泡。在气泡里是新的真空，原来的真空在它





的外部。这种气泡一旦产生，就会迅速地膨胀。它的外膜具有超核密度，并能获得接近光速的速度。到那时，我们整个宇宙就会被完全摧毁。

当我想到在粒子加速器中，当一束粒子轰击目标或是与另一束粒子发生碰撞时，就有可能产生这种气泡。我觉得背脊一阵发冷。谈到这里，萨哈罗夫打断我说："这类理论研究应该被禁止。"

我指出，加速器可以继续工作而不需要关心这样的理论研究。而且我说：如果宇宙确实在某一时刻具有这种不稳定的真空状态，那么它也一定在很久以前就被一种稳定的真空状态所取代，因为所有可能的碰撞都发生在宇宙的幼年时期。

"但是，当时没有人有意识地用一个原子核轰击另一个原子核，"萨哈罗夫反驳说。

《回忆萨哈罗夫——以此表达朋友和同事对他的敬意》
(*Sakharov Remembered, A Tribute by Friends and Colleagues.* New York: AIP, 1991, 59)

我认为，萨哈罗夫作为一名科学家而具有的特点可以用詹姆斯·格莱克(James Gleck)在《纽约时报》(*New York Times*)上写的一些关于天才的话来加以概括，这些话出自他为患病的著名物理学家理查德·费恩曼写的一篇文章。

康奈尔大学的汉斯·贝特(Hans Bethe)对数学家马克·卡克(Mark Kac)的话进行了解释。说世界上有两种天才，常见的一种会取得伟大的成就，但会让别的科学家认为只要他们工作得足够努力也会取得同样的成就。另一类则会变魔术："一个魔术师做的事情是别人不会做的，而且是完全出乎意料的。"贝特博士说："那就是费恩曼。"

我想对贝特的话作一个诠释："那就是萨哈罗夫"，萨哈





罗夫的思想和结果都是“魔幻般”的。

为了证明在宇宙中白洞、连接白洞与黑洞的宇宙通道确实存在，有必要证明这些物体像物理学家说的那样是稳定的。这就意味着一方面要着手分析这些物体是否会产生破坏它们自己的物理过程；另一方面，有必要证明外部因素，例如从一个宇宙通道进入黑洞的光线不会破坏这个通道。

英国理论物理学家罗杰·彭罗斯（Roger Penrose）系统阐述了宇宙通道稳定性中的第一个疑问，他指出下面几个问题。假设光从宇宙通道进入一个黑洞，万有引力把越来越多的能量传送给光量子，进而光的能量会集中在一个很小的体积里。彭罗斯认为，由这个被压缩能量产生的万有引力会破坏宇宙通道。许多人都试图验证这个想法。20世纪70年代末我开始对这个问题感兴趣，虽然我不知道彭罗斯的早期著作，但我成功地找到三位年轻的物理学家一起工作。他们是亚历山大·斯塔罗宾斯基（Aleksandr Starobinsky，泽利多维奇的研究生）和索恩的两个学生：叶克塔·居尔塞尔（Yekta Gürsel）和弗农·桑德伯格（Vernon Sandburg）。1978年我们一起在（美国）加利福尼亚理工学院精神抖擞地开始解决这个问题。时间是很短暂的，我们总是工作到深夜。

我们工作得出的结果和彭罗斯设想的一样。但还有一个前所未有的可怕特征：黑洞吸入的任意一缕微弱的光线都有可能激发起足以毁掉宇宙通道的不稳定性。我们的计算显示：无限放大的辐射会产生非常强大的引力场。这个引力场会使宇宙通道在还没有完全形成时就被破坏，进入宇宙通道的入口被无法穿透的奇点*所取代。

* 时空中的一点，在该点重力使物质的密度无穷大、体积无穷小，空间和时间被极度扭曲——译者注。




后来著名的印度物理学家苏布拉马尼扬·钱德拉塞卡(Subrahmanyon Chandrasekhar)和美国的詹姆斯·哈思(James Harth)发展了一套完整的理论，具体阐明这一过程。这一理论的结果是形成一个无法穿透的奇点而非一个宇宙通道。我和斯塔罗宾斯基一起进行了黑洞内部强引力场中粒子产生的量子过程的研究，结果也得出了上面的结论。白洞也被证明是不稳定的，研究发现：外部物质会使白洞迅速地变成黑洞。这一结论在美国的道格·厄德利(Doug Eardley)、俄罗斯物理学家瓦列里·弗罗洛夫(Valery Frolov)，以及其他许多的论文中都得到了证明。另一方面，泽利多维奇、斯塔罗宾斯基和我三人的共同研究显示，白洞在它自身内部活跃地通过量子过程产生物质，这些物质产生的万有引力使白洞变成黑洞。

白洞和通道都被证明是极不稳定的，因而在正常条件下是不可能存在的。

实际上可以人为地抑制不稳定性从而使通道稳定，这种可能性将会在“逆向时间长流”一章中得到讨论。

让我们重新回到黑洞上，并且设想一下：如果有一位勇敢的观察者进行了一次进入黑洞的旅行，那么结果会是什么样的?

引力将会把飞船引向引力越来越强的区域，在下落刚开始时(假设飞船的发动机已经关闭)，观察者处于失重状态，也没有什么不舒服的感觉。但随着下落过程的不断发展，情况就会显著地发生改变。为了能说得更清楚一些，让我们回想一下潮汐力，潮汐力之所以会产生是因为物体靠近引力中心受到的引力要比远离引力中心受到的引力大得多。因而物体就要发生变形(地球的表面水层就发生了这种变形，例如



海洋就因为月亮的吸引而产生了潮汐)。

在进入黑洞的初始阶段，这种潮汐力可以忽略不计，在下落的过程中潮汐力会不断地加强。这个理论说明任何一个进入黑洞的物体都会不可避免地到达一个潮汐力无穷大的区域，因而任何一个物体、任何一个粒子都会被撕裂，接着就不存在了，想通过奇点且不被摧毁是不可能的。

很难证明黑洞具有奇点。1965年罗杰·彭罗斯迈出了决定性的一步。我是从利夫席茨那里得知这一情况的。当时我和安德烈·多罗什克维奇一起对一个有“波纹”的球形物体受压缩后形成黑洞的过程进行了计算。那天我俩把我们的计算拿给利夫席茨看，他对我们的计算非常感兴趣:“你们想要证明，一个近似球体的物体坍缩后能和一个理想球体的物体一样形成黑洞，但是寻找黑洞内受压缩物质的最终状态也是很重要的。我刚刚读过彭罗斯的一篇关于这方面的论文。”接着他给我看了那位英国数学家的简短便条。

罗杰·彭罗斯在那篇论文中以一种异常优雅的方式证明:一旦黑洞形成，光也无法逃脱，在其内部会形成一个引力极其强大的区域，这就是奇点。我现在还记得当时的感觉既高兴又失望。我曾经试图寻找由彭罗斯给出的那些证据，但是我没有找到。我高兴是因为看到我的猜想得到证实，我失望是因为这些证据被别人找到了。

后来在20世纪70年代末，彭罗斯和霍金证明一系列关于黑洞中奇点的理论。

一个掉进黑洞的物体不可避免地会遇到奇点。读者可能还记得，在黑洞中辐射从空间方向转变成时间，从黑洞的边界到黑洞中心的距离是有限的，因此一个物体允许在黑洞中存在的时间是有限的，而且是极其短暂的。例如在一个质量

为太阳质量10倍的黑洞中，这段时间为万分之一秒；而在一个具有质量为太阳质量10亿倍的大黑洞中（这样的黑洞很可能存在于星系的中心），这段时间可以达到数小时。在黑洞中所有的时间线都汇集到奇点，在那里所有物体都将被摧毁。

然而，如果任何进入黑洞的物质都无法避免这一结果，那么这就意味着时间在黑洞中也不是完整的。读者也许会对这个结果感到迷惑。“那么接下来会发生什么？”你也许会问，“被摧毁的物体碎片仍然会在这场劫难后继续存在，对不对？”

不对，时间的特征依赖于变化过程的本身。该理论说明：奇点里的时间将不再连续地运动，而是转变为量子。这里我们还应该记得，相对论认为时间和空间是联系在一起的，是一个变化的整体，因而我们应该说：时空转变成了量子。

到目前为止，我们还没有确切的理论来描述这一现象。我们只能概括可能发生的情况的最普遍特征。当然第一个问题：这些时空量子多大或多小？这个问题可以在没有完善理论的情况下得到回答。

马克斯·普朗克是物理过程量子化思想的创始人，他曾经这样设想过：如果一个物理过程含有和光速一样高的速度，非常强的引力场和物质量子化的特性，那么时间的最短间隔可以简单地通过已知光速、牛顿万有引力常数和普朗克自己得出的量子常数计算获得。他计算了这段时间间隔，即普朗克时间。它是难以想象的短，如果以秒为单位，那么它的数量级将是$10^{-44}$分之一秒。

时间和空间构成一个不可分割的时空，我们也能够用这些不同寻常的量子来表示空间的尺寸（即普朗克长度），如果以厘米为单位，那么它的数量级将是$10^{-33}$分之一厘米。普朗



克尺寸在时间和空间中都是可以忽略的。

比普朗克时间更小的时间间隔在物理学上很可能是不存在的。我们从量子物理学中可以知道，电荷是量子化的，一定频率光波所具有的最少能量单位是光量子。

存在时间量子并不十分令人吃惊。20世纪几乎已经使科学奇迹变成了例行公事。注意：关于时间本质的这一概念来源于奇点中所有物理过程都不可避免地以量子形式表现出来。

如果在一种状态下，所有的物质都表现出量子特性，那么时间也将表现出量子特性（尽管尺度很小）。从这个角度看，恒定的时间流实际上是一种观察不到的不连续的过程。与之类似的是从远处看到沙滩上沙子的流动是连续的，但实际上沙流是由单个沙粒所构成。

在黑洞中的奇点，时间变成了不连续的量子。这就是说，如果一个物体离奇点的距离是普朗克时间标尺，那么这时再问进入黑洞的观察者的时钟能否走更长的时间，以及接下来将要发生什么是毫无意义的。这一时间单元不能再进一步分割，就像一个光子的能量不能再分一样。"以前"和"以后"的概念变得毫无意义，而且很有可能，问题"奇点以后还会是什么？"也变得毫无意义。

为了清楚地说明，我们可以求助于下面的分析，回想一下，一个电子是怎样沿着一条固定不变的轨道围绕着原子核运动的。用经典物理学的话讲，我们说"电子在运动"。而在量子物理学的术语中，"运动"是一个不恰当的词，更确切的说法是，电子处于波函数描述的一种特定状态之中，与时间无关。波函数可以用来计算电子在某一地方出现的概率。

很有可能在描述奇点的量子理论中，"时间流动"会被一种类似于波函数或概率函数的东西来描述。具体表述可能是





“一个特定时间间隔出现的概率”。这听起来有些令人迷惑是不是?

让我们重新概括一下，奇点中的时间属性会发生显著的改变，并且会表现出量子特征。时间之河变成了不可再分的量子。说奇点是时间的边界，奇点内的物质都处于时间之外是错误的，应该说物质存在的时空形式变成了一种不同寻常的形式。我们的习惯概念这时已经变得毫无意义。以我们现在的理解水平，我们只能猜测奇点中统治自然的法则是什么。

关于黑洞我所能说的一切都只是理论物理学家的结论，当然是利用所有现代物理学进行的推论。这是科学的前沿，有很多东西还需要进一步的验证和修改。我们不能忘记黑洞确实存在于宇宙之中，它里面的奇点会阻碍传统的连续的时间流动。天体物理学家很有把握地认为，已经发现了数个这样的天体。它们就像是时间之河流进了一个大漏斗——一个巨大的旋涡，任何东西都无法逃脱。

# 第八章

# 从黑洞中获得能量







关于时间和空间里存在空洞的故事就谈到这里。到目前为止，还没有提到黑洞的另一个令人惊奇的特性：黑洞会不断地释放能量。这种现象是还未能解释清楚的时间和能量关系的又一特征。当物质的量子特性开始占统治地位时，这一特征就明显地表现出来。

首先，我想简单地介绍一下空旷的空间和它的量子特性。

根据现代理论，真空并不是绝对空，即“完美的空无一物”。它是所谓的“虚粒子”和“反粒子”的海洋，这些粒子并不像真实粒子那样存在。在真空中，虚粒子和反粒子会不断地被成双成对地创造出来。但是只能存在很短的一段时间，接着就立刻消失了。它们不可能转变成真实粒子，如果发生这种情况就意味着能无中生有地产生真正的能量。量子物理学的不确定关系允许这些粒子短时间内存在。这一关系指出：一对虚粒子的寿命和它们能量的乘积是普朗克常数的量级。真实粒子可以被单独分离出来，而原则上虚粒子则不行。

以上就是真空的特性。如果在真空中施加某一强场，那么某些虚粒子可能会“积聚”足够多的能量而转变成真实粒子，这就是利用强场的能量在真空中生成真实粒子的机制。很久以前这些事实就已为人所知。例如，像电子和正电子这样的带电粒子就是在真空中受强电场作用而产生的。



让我们再回到黑洞上，1977年雅科夫·泽利多维奇和亚历山大·斯塔罗宾斯基分析了一个旋转黑洞周围的真空中的物理过程。问题是当一个旋转物体坍缩后形成黑洞，其中不仅有把所有物体拉向中心的引力场，还有使物体沿黑洞旋转的场，最后形成一个旋转状引力场，这样的黑洞叫做“旋转黑洞”。

泽利多维奇和斯塔罗宾斯基发现利用在旋转黑洞附近的旋转引力场的能量会产生辐射量子，结果是黑洞的能量不断地转化为辐射能。这是一个非常缓慢的过程。例如，一个具有10倍太阳质量的黑洞，以最快的速度旋转，在我们整个银河系的寿命里（约100亿年），黑洞只向外辐射了数百分之一尔格（1尔格=$10^{-7}$焦耳）的能量。这种能量损失绝对是可以忽略不计的。

1973年秋天，泽利多维奇和斯塔罗宾斯基在史蒂芬·霍金访问莫斯科时，把他们的计算结果拿给他看。回到剑桥后，霍金用他自己的数学方法检验这些计算。他后来回忆说：

当我进行这些计算时，我发现这些结果让我吃惊和烦恼，即使是不旋转的黑洞也要明显地以恒定的速率产生和发射粒子，起先我认为这种结果是因为我应用了不合理的近似……但是经过进一步考虑后，我认为那些近似是合理的……因为这一计算已经被许多人用不同的方法验证过，所有这些计算都证实了黑洞应该向外发射粒子和辐射能量，就好像黑洞是一个炽热的物体，它的温度仅依赖于黑洞的质量：质量越大，温度越低。

这是一个非常奇妙的发现。

我要清楚地，至少是近似地说明辐射是怎样产生的。这一过程中最基本的概念就是它的量子本质。在真空中产生的





虚粒子之间有一段距离。在黑洞产生的引力场中，虚粒子中的一个可能会在黑洞边界外产生，而另一个则在黑洞内产生。外部的虚粒子可以摆脱黑洞进入周围的宇宙空间，而且内部的那个虚粒子则会不断地落入黑洞内部，观察者永远也不会观察到它，这两个虚粒子将永远也无法像它们在通常的真空条件下一样合并消失，从而就形成了一股粒子流从黑洞流向外部空间。因此，黑洞的能量就这样地释放出去，黑洞的尺寸也将减少。史蒂芬·霍金证明黑洞向外辐射能量就像是它的表面被加热到某一温度时一样。

我必须立即强调的是，由星际物质构成的黑洞的温度是极其低的。例如，一个具有10倍太阳质量的黑洞的温度是千万分之一开氏度，黑洞的质量越大，它的温度越低，因此超级质量黑洞的温度是绝对可以忽略不计的。与此相反，黑洞的质量越低，它的温度就越高，黑洞质量转变成辐射能的速度就越快。我已经提到过，质量非常巨大的黑洞释放出可以忽略不计的质量。在自然条件下，它们吸收的能量要大得多，它们只会使周围的物质变得稀少。但是一个足够小的黑洞，会以很快的速度释放能量，这时就应该把它看做是一个能量源。例如一个质量为10亿吨（中等山脉的质量）的黑洞会在100亿年中，每秒钟释放出$10^{10}$焦耳的能量，在这一过程中，它的温度将会是1000亿开氏度。注意，这一温度是太阳内部温度的1万倍，这样一个黑洞的尺寸是非常非常微小的，大约只有一个原子核直径那么大。

黑洞通过量子辐射释放能量的过程是极其缓慢的，这一过程被称为“量子蒸发”，但是低质量黑洞的能量辐射不可以用蒸发这个词来形容。这是一个非常炽热的过程，在这一过程中，黑洞质量以不断增加的速率减少。当质量减少到100



万吨时，温度将达到1000亿开氏度。能量释放过程变成爆炸，最后的1000吨物质将在十分之一秒内被炸掉。释放出的能量相当于100万颗百万吨级氢弹爆炸释放能量的总和。低质量黑洞的量子释放过程是一个效率很高的过程。但是这样一个黑洞能否形成呢？

我曾经提到过人为制造一个黑洞是不现实的，至少在可以预见的未来是不可能的。自然界能否制造这样一个黑洞呢？

我们将在本书的后面看到，这个问题的答案是肯定的。小黑洞可能在宇宙膨胀的初期阶段就已经被创造出来了，为什么在今天的宇宙中无法创造这样的黑洞呢？即使在可以预见的未来，要想在实验室中制造这样一个黑洞也是极其困难的，更不用说现在了。这是为什么？

最关键的一点就是需要把物质压缩到极高的密度。要把太阳变成一个黑洞，就需要把太阳压缩到原子核密度；而要把地球变成黑洞，就需要把地球压缩到比原子核密度还要大1000亿倍。

这种剧烈的压缩需要巨大的力。在质量很大的恒星上，这种力可以由它们自身的万有引力产生。但是，对小质量的物体而言，万有引力显然是不够的。这就需要从外边施加巨大的压力。这种巨大的压力在自然界中是不存在的。在人造实验室中也是不存在的（还不知道制造这种设备是否可能）。

如果我们能够回到宇宙的过去（我们将在后面讨论它），我们会注意到在宇宙膨胀的初始阶段，大约150亿年以前，当时的自然条件很适合产生小黑洞。当时，所有的物质都处于一种密度极高的状态下，因此不需要进行额外的压缩。当时，物质以极高的速度向外膨胀，因此只要某一个小区域内物质




的膨胀的速度稍慢，或是临近体积相同但质量稍大的物体，都有可能形成一个小黑洞。万有引力会减慢物质膨胀的速度。一段时间后，膨胀就变成了压缩，从而形成一个小黑洞。泽利多维奇和我自己在1966年，霍金在1977年分别指出存在这种可能性。在科学文献中，形成原始黑洞特别是形成质量比太阳或其他恒星质量小得多的黑洞可能性的理论发现，常被认为是史蒂芬·霍金第一个发现的。我认为是如下原因造成的。虽然泽利多维奇和我在霍金发表他的论文前许多年，就已经很清楚地知道存在这种可能性并时常提到这种可能性，但是，我们从没有非常清晰和准确地指出质量很小的黑洞可以通过这种方式形成。我知道如果作者要让读者正确地理解自己的话，那么这种清晰和准确是必须的。否则他写的一切都只能是“写给他自己的”，只有他自己才能理解。或是像泽利多维奇过去常说的那样，在你的背后保持一个V字形*。

小黑洞可以在宇宙形成早期存在，它们的质量可能会比恒星质量小得多。这些黑洞的命运是怎样的呢?

这依赖于它们的质量。小黑洞利用量子机制向外辐射能量。计算显示：初始质量小于10亿吨的黑洞到现在已经全部蒸发掉了。重一些的黑洞现在还存在。这些黑洞能否用天文手段观测到，从而确定它们的存在呢?

最直接的方法就是寻找它们释放出的重量子。观测这些来自宇宙深处的重量子有助于鉴别原始黑洞。但到目前为止还没有找到。我们只能得出在每立方光年的空间中，质量在10亿吨左右的黑洞数目不超过1000个。如果它们的数目超过

* 这可能是最接近俄罗斯典型手势的符号了。这个手势代表的意思在泽利多维奇常用的手势中是很著名的——英文版译者注。



1000个／立方光年，那么它们聚集在一起释放出的重量子是可以被探测到的。数字“1000”看起来很引人注意，但不要忘记它们的总质量与同一区域内的恒星质量相比是可以忽略不计的。

只有通过未来的观测才能显示在宇宙中是否存在小黑洞。

从上文的内容中读者可以清楚地知道：宇宙中很可能存在黑洞。既有在星系中心的巨型黑洞，也有在宇宙形成初期存在的小黑洞。所有这些黑洞将来都有可能成为能量的源泉。对于质量很大的黑洞，我们可以利用它们巨大的万有引力能。我不想详细地讨论这个问题，因为这会使我们偏离这本书的主题太远。至于小黑洞，它们不断地释放能量。

可以通过很多种不同的方法利用这些能量。例如，我们可以想象有一定数量的小黑洞围绕地球旋转，同时释放出它们的量子辐射。但是我们如何才能让这些黑洞围绕地球旋转呢？也就是我们该如何移动一个黑洞呢？这不是一种传统的物体，它没有物质的表面，它不能被带钩子的缆绳钩住。你也不可能把它装入一个集装箱里。实际上，虽然它的质量和一座山脉一样，但它的尺寸只有一个原子核那么大。它可以自由地穿越任何障碍物，可以穿越地球。

是否存在一种方法迫使小黑洞沿需要的方向运动，或是增加或减小它沿指定方向的运动速度呢？让我们想象一下，我们怎样才能使黑洞听我们的指挥？

第一种方法当然是引力场。黑洞像其他物质一样遵循万有引力定律。在引力场中，黑洞像其他物体一样做自由落体运动，所走的轨迹也和其他物体相同。因此，使黑洞沿指定方向运动的最简单的方法就是使用一个引力场。

例如，我们可以按如下的方法做（见图8.1）。让我们在





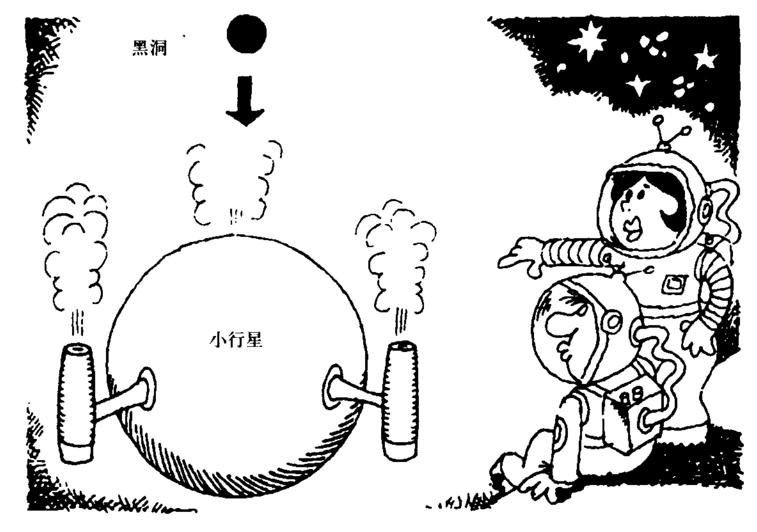



图 8.1

小黑洞的附近引入一个质量足够大的小行星，该小行星的质量大于小黑洞。我们可以利用在小行星上安装喷气发动机来控制小行星的运动。黑洞就会开始在小行星的引力场下向其中心下落。我们可以等待一会儿，直到黑洞在正确的方向上有了足够的速度，然后把小行星移动开。接下来黑洞就会依靠惯性沿预定的方向前进。

当然，一个中等质量、现实尺寸的小行星产生的加速度是不可能高的。黑洞获得的速度同样也不可能高。例如，一个半径为地球半径百分之一的小行星可以把黑洞加速到 100 米／秒的速度。

这种方法可以进一步改进。可以对安装在小行星上的喷气发动机进行编程，可以使小行星在离开黑洞时产生一个加速度。这个加速度等于黑洞落向小行星时受到的加速度。在



这种条件下，黑洞—小行星系统可以缓慢但稳定地移动。

在相反方向引入一个小行星，可以对黑洞进行减速，或者改变它的方向。如果黑洞已经在地球轨道上了，我们可以在黑洞旁边的适当位置引入一个大质量的物体，通过它和地球共同产生的引力场来修正黑洞的运动轨迹。

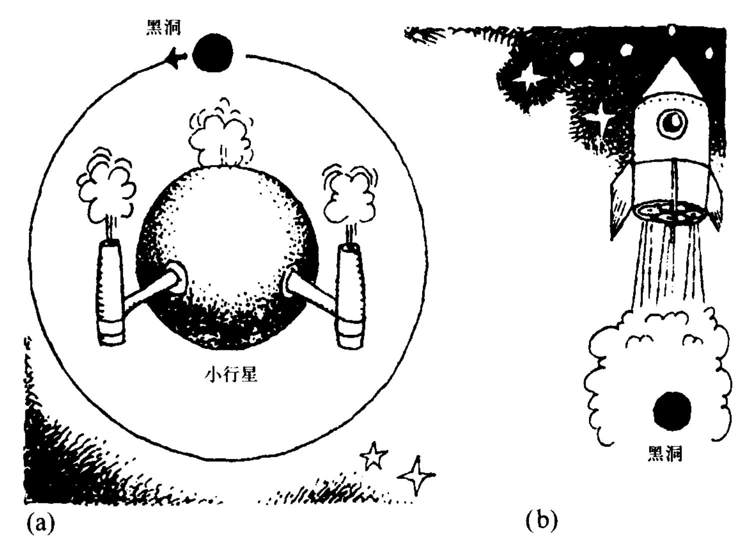



图 8.2

还有一种类似的转移黑洞的方法。让我们引入一个大质量的小行星并以适当的方法调整它靠近黑洞，则小行星将会迫使黑洞沿围绕自己的圆形轨道运动（见图 8.2a）。在此之后，可以利用安置在小行星上的喷气发动机使它加速。如果加速过程足够平稳，那么黑洞会一直跟随着小行星，并沿着圆形轨道围绕它运动。只要小行星受到的加速度小于黑洞受小行星引力场作用而做自由落体运动时受到的加速度，这一




方法就可以实现。

以上所有方法都需要使用大质量物体。我们能否避免使用它们呢?

可以。如图8.2b中所示就是一种方法。一枚火箭由于火箭发动机产生的推力而“悬浮”在黑洞的上面。发动机喷出的高速、高温气体绝大部分都吹过黑洞，只有很少一部分气体被黑洞吸入。结果是：整个火箭—黑洞系统向着火箭头部的方向前进并缓慢加速。火箭越是靠近黑洞，火箭发动机的推力就需要越大，以防止火箭落入黑洞。但整个系统获得的加速度就会越大。

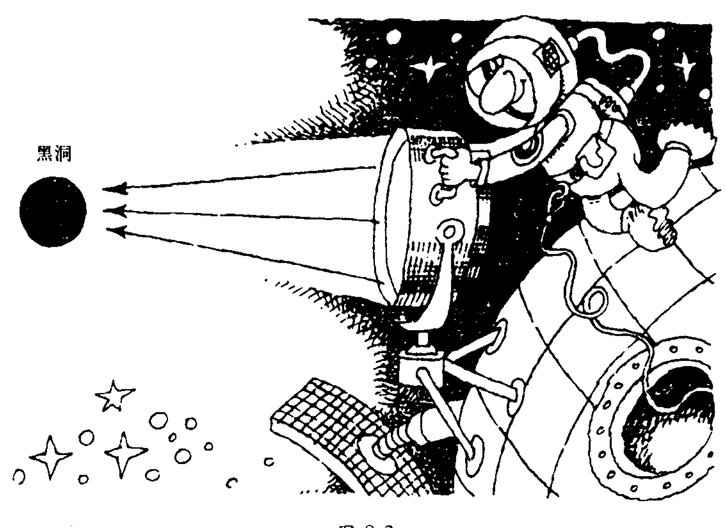



图 8.3

图8.3中，画的是另一种增加黑洞速度的方法。这次，既没有万有引力也没有火箭，而是利用辐射源发出的辐射直接照射黑洞。黑洞吸收这些辐射后就会获得辐射流所具有的动



量，并开始运动。我们也可以说黑洞在辐射的压力作用下开始运动。即辐射压力作用在真空或是作用在一线万有引力（黑洞就是这样）上。这难道不是一种不同寻常的情况吗?

让我们停止想象（目前为止还只能是想象）。这一章的主要目的是为了说明空间和时间里的黑洞都不是永恒的。霍金辐射会缓慢地蒸发掉它们。

目前还不清楚这对时间理论有什么重要意义。但是可以清楚地看到黑洞是时间之河的“排水管”，并会缓慢地闭合。俄罗斯科学院院士马尔科夫（M. Markov）认为：黑洞最终的残余物质一定是一个初级黑洞，是一个十万分之一克的微粒。

黑洞物理学中的这个方面以及其他很多方面都是理论物理学家们努力研究的课题。

# 第九章

# 通向时间长河之源






至此我们已经发现，时间的流逝可以很不相同。时间之河有港湾也有潮起潮落，然而，它有源头吗？

既然已经清楚了，时间的属性是在大自然中进行的物理过程的一个函数，那么，这个问题看起来就不再那么荒谬了。哲学家们思考这个问题已经有了很长的时间了。然而，由于牛顿力学的惊人成就，结果牛顿学说关于永恒和不变的时间概念广为人们接受，这就使得他们习惯于认为时间的起源是在无尽的过去。

人们认为时间是从过去延伸到未来的始终如一的河流或从不改变的道路。事实上，科学家们又一次不得不面对时间的起源这一问题，而且颇有戏剧性的是，这是在20世纪人们发现宇宙膨胀之后。有关这一成就的细节描述，可在由我和沙罗夫于1989年写的书《埃德温·哈勃——宇宙大爆炸的发现者》(*Edwin Hubble: the Discoverer of the Big Bang Universe*)中找到。(英译文的扩充版本由剑桥大学出版社于1993年出版。)在此，我仅就这一问题的主要论点做一追述。

这一切是从19世纪末期开始的。一个富有的美国天文学家珀西瓦尔·洛厄尔(Percival Lowell)，在亚利桑那沙漠中建有一个私人的天文台。他之所以敢于这样做，是因为他非常热衷于观察由意大利天文学家乔瓦尼·斯基亚帕雷利



(Giovanni Schiaparelli)发现的火星表面上的神秘线条，他认为那是运河。洛厄尔对太阳系的起源也感兴趣，他深信，在天空上观察到的一些星云，是正在形成过程中的行星系。在这些目标中，他注意了仙女星座中的星云。我们现在非常清楚地知道，形状类似朝中心弯曲的螺旋线的仙女座，是最靠近我们的星系之一，它就像我们的银河系一样。但是，在洛厄尔的那个年代，对于星云与我们之间的巨大距离还一无所知。

洛厄尔向最近受雇于他的天文台的一个年轻天文学家维斯托·梅尔文·斯里弗（Vesto Melvin Slipher）建议，对仙女星座的光谱进行研究。这是个富有挑战性的任务。星座的亮度很低：对于肉眼而言几乎看不见。用于记录光谱的摄影胶片的灵敏度，在那个时代还是相当低的，而且望远镜的水平以我们现在的标准而言也是非常逊色。它是折光式的(使用透镜)，带有直径为60厘米的物镜。作为对比，目前位于北高加索的世界上最大的折光式望远镜，其直径为6米，可以多聚集100倍的光线。

在1912年9月17日的晚上，经过了7个小时的曝光后，斯里弗得到了仙女座星云的光谱，并且根据多普勒效应，第一次测得了它的速度。天文学家不敢相信自己的眼睛：星云以300千米／秒的巨大速度朝我们疾驰而来。斯里弗又对光谱进行了几次拍照证实了这一结果，之后才发表了论文。仙女座星云的速度，是普通天体速度的10倍。斯里弗意识到他偶然发现了极不寻常的现象，在论文中写道：“因此，对其他目标进一步的研究工作，有可能得到非常重要的结果”。

斯里弗概述了计划的要点并开始实施。

这是个异乎寻常复杂的工作。其他的星云是如此暗淡，

以至于需要数十小时的曝光时间。斯里弗夜以继日地重复着他的工作，经过了2年的艰苦努力后，他测得了15个星云的速度，并继续积累着观测资料。星云的速度是惊人的，除了仙女座以及天空中几乎相同区域的其他几个可见的星云之外，几乎所有的星云都是离我们而去。最大的退行速度是1100千米／秒。

在1917年，维斯托·斯里弗对他的辛苦工作做了一份总结报告。他得出结论，首先，星云不是新行星系的起源；其次，以那时对25个星云的测量速度为基础，他能够得到的主要结论是：考虑到平均速度是正的这个迹象，表明星云的退行速度是大约500千米／秒。这或许意味着螺旋形的星云正离我们而去，但是它们在天空中的分布却趋向于形成星团。

这是第一次做出有关星云世界是膨胀的推测。那时没有人能够确信星云是恒星系还是像我们银河系一样的天河星系。

几年之后，另一位美国天文学家埃德温·哈勃证明了星云是由恒星组成的，并且测量出了它们距离地球的距离。他发现这个距离是非常之大，并且星云事实上是巨大的恒星系。

埃德温·哈勃下一个真正伟大的发现，是描述星系是怎样离去的定律。在寻找星系的退行速度与它们的距离之间的对应关系时，哈勃于1929年发现，退行速度直接与距离成正比。这是与他的名字相联系的伟大定律。当然，星系不仅从我们（从银河系）处退行，而且也从其他星系处退行，因而整个宇宙是膨胀的。

哈勃的发现，是在试图根据新的物理理论描绘宇宙结构的理论研究工作之后得到的。

这其中最重要的理论是爱因斯坦的广义相对论，它将引力与空间的几何特性以及时间在强引力场中流逝的减慢联系



了起来。

在爱因斯坦完成了广义相对论之后不久，开始构造宇宙的理论模型的基础。在那个时代，没有关于遥远世界有系统运动的观测证据，爱因斯坦假定，一旦我们将那些速度不是很快（几十千米／秒）的单个物体的局部运动平均起来，最大尺度下的物质就处于静止。但是，这个事实与引力理论相矛盾！

的确，作用于宇宙尺度下的惟一有影响的力，只有万有引力。所以，如果我们假定在某个时刻，宇宙中的巨大物质之间是相对静止的，那么在下个时刻它们将开始做相互靠近的运动。这是已经由牛顿得到的结论，在爱因斯坦的新理论中也得到了相同的结果。宇宙大尺度下的所有物质必定开始收缩。巨大的恒星世界（星系），可以作为这种物质的“粒子”来处理，因此，星系必定趋向于彼此靠近。

可是，爱因斯坦并不相信这种情况；他知道当时的天文观测没有任何迹象表明这种情况（这是在哈勃发现宇宙膨胀很久之前）。因此，爱因斯坦假定，除了相互吸引的引力之外，在自然中一定还存在着假想的相互排斥的力，而科学对此力一无所知。相应地，爱因斯坦在他的公式中引入了所谓的宇宙学项，来描述宇宙的排斥力。这种力被设置为非常微弱，只有在宇宙尺度下非常大的距离上才能表现出来，而在地球上甚至在太阳系中它们是绝对无足轻重的。

这些虚构的排斥力，是爱因斯坦用于平衡引力的，并使宇宙保持静止。

仅仅靠这些力彼此抵消还不足以让这种静止始终存在；很明显，物质在每一次偶然的小范围的局部运动之后，必须自己恢复平衡；用物理学家的话说，平衡必须是稳定的。




这幅画面看起来有点太抽象，然而，只有少数杰出的理论物理学家能够完全明白爱因斯坦提出的这个复杂的理论。其中有一位杰出的英国理论物理学家阿瑟·埃丁顿（Arthur Eddington）开始思考这些问题。

对这些理论问题的回答，来自于20世纪20年代中期的苏联。

来自于彼得格勒（现为圣彼得堡）的数学家亚历山大·弗里德曼，解出了爱因斯坦的新理论中关于在宇宙尺度下物质运动的方程式。从他的解中得到的结论是十分重要的。

弗里德曼指出，不管爱因斯坦提出的假想的排斥力是否存在，还是仅存在着万有引力，宇宙都必定是非静止的。

的确，只有在宇宙中非常特定的物质密度下，斥力和引力才能达到平衡，在这个状态中哪怕只有一点偏差，其中的一种力就会大于另一种力，宇宙必定开始膨胀或收缩。即使没有假想的排斥力，宇宙也会飞散，如果初始条件下它的物质彼此运动分离的话（初始速度是由过去的一些过程引起的，我们将在本书的后面讨论这一点）；彼此间的引力将会减缓朝外的运动。因此，宇宙是膨胀还是收缩，取决于支配着物质初始速度的过程。

弗里德曼的公式不仅描述了宇宙中物质的运动力学，而且也描述了空间的几何特性。数学家们称这些公式描述了空间的曲度，当宇宙膨胀时，曲度随时间而变化。

弗里德曼的结论起初受到了爱因斯坦的断然反对，当得到弗里德曼和另一位物理学家克鲁季科夫（Yu. Krutkov）的解释之后，爱因斯坦完全接受了弗里德曼的结果。

接下来发生的事令人难以理解。尽管弗里德曼的论文被一个著名的德国杂志发表了，同时该杂志也刊登了爱因斯坦



对他起初的错误判断所做的承认声明，但是，这篇论文却不仅丝毫未引起天文学家的注意（这并不奇怪：天文学家们发现，很难跟得上理论物理学的最新发展；唉，即使是现在的天文学家也是如此），也完全未引起理论物理学家们的注意。后者的原因就难以解释了。然而，随后我将用几段的篇幅来提供一些假设，或许有助于澄清其可能性。

在西方，理论界的发展是相当独立的。

荷兰物理学家威廉·德西特尔（Willem de Sitter），在1917年已经分析了宇宙的一个理论模型，它几乎没有任何引力物质，也就是说，它实际上是空的，只是由爱因斯坦的宇宙斥力支配着。6年以后，德国数学家赫尔曼·外尔（Herman Weyl）注意到，如果将星系以很低的密度插入到宇宙中，以便使得它们的引力与斥力相比可以忽略不计，那么，它们将获得与它们之间的距离成比例的速度（只要星系间的距离不是很大）。

5年之后，另一位理论物理学家罗伯逊（H. Robertson）得到了相同的结论。他将由哈勃的观测资料计算得出的星系间的距离，与斯里弗发现的速度之间做了比较。罗伯逊注意到了速度和距离间的近似比例关系。不久，埃德温·哈勃非常明确地建立了这条定律。

在罗伯逊之前大约1年，阿瑟·埃丁顿（Arthur Eddington）的学生乔治·勒迈特（Georges Lemaître）重新推导了5年以前由亚历山大·弗里德曼得到的公式。但是，与弗里德曼不同的是，他注意了对遥远星系的天文观测资料，这些资料可以检测他的理论的正确性。

当我和沙洛夫描述在发现宇宙膨胀之途上的崎岖坎坷时，我们收集资料、重读出版物、与我们的西方同事进行交谈，想




尽办法试图了解为什么弗里德曼工作的重要性没有被同时代的科学家们所欣赏。

受到忽视的其中一个因素或许是，弗里德曼没有提及对他的理论的观测检验，而其他的研究论文讨论了这个方面的内容，更接近于观察天文学家，也更易为他们所理解。结果，他们对讨论了观测检验的论文倾注了较多的注意力。

起初，无论是哈勃还是加入对他的理论进行第一次讨论的其他人，都不知道或者不记得西方的早期理论出版物，更不要说弗里德曼的著作了。很有可能在那个时候受到人们重视的只有这两个模型：预言了星系在几乎空旷的宇宙中退行的德·西特的模型，以及爱因斯坦的静态模型。

为什么弗里德曼的工作，以及西方为数不少的理论物理学家所做的非稳定宇宙的预言，两者要么长期以来不为人所知，要么未引起他们的兴趣？一段时间以来，对最重要的自然现象的理论预言，未能引起那些能够检验这个预言的人们的注意，对于这种奇怪的状况，我们可以提供几个可能的原因。

可能的原因之一似乎是，新的宇宙学模型建立在广义相对论之上，而广义相对论的复杂性不仅体现在其数学工具上，更重要的是体现在空间、时间的概念以及对引力相互作用的解释上。在那个时候，不仅是观察天文学家，甚至就是理论物理学家也难以迅速掌握这个新思想、或者清楚地理解它们，在空间探索工程中也不能迅速地利用它们。

因此，第一个原因似乎是理论物理学家和观察者之间的差距。另一个原因是心理上的。预言通常是由理论的特别推论得到的，例如宇宙的空间可能是闭合的，或者说我们世界的演化贯穿于它的过去之中。那些使用新型强大望远镜穿透



越来越深宇宙空间的务实的天文学家们，发现很难接受这种会剧烈改变他们对宇宙的通常印象的结论。

但是，我们还是忘掉这些推测，回到做出这些发现之后天文学的情况之中。

在20世纪20年代，理论物理学家和观察天文学家都建立了这种观念，即我们生活在膨胀的宇宙之中，宇宙在过去的某个时刻曾经“爆炸”过。

这个发现推翻了我们关于宇宙是宏伟的、一般来说是不变的、包含永恒物质循环的观念。

这样的发现对于理解宇宙时间的本性将是决定性的，这一点是毋庸置疑的。

哈勃的发现已经过去60年了。他为我们打开的对现象的探索之门依然敞开着。用著名的意大利哲学家焦尔达诺·布鲁诺（Giordano Bruno）的话说，“追求理解的愿望，永远不会对已完成的工作感到满足。”如今观察天文学家使用的设备——望远镜和仪器——远胜于以前使用的任何设备。天文学家们现在正仔细地研究那些离我们有100亿光年、并且几乎以光速离开我们而退行的星系。例如，已知最远的类星体(明亮的星系核)的退行速度是如此之大，以至于由它发出的光波波长，由于多普勒效应而增加了五倍。

在我们这个时代，宇宙膨胀的理论很好地得到了观测数据的支持，同时，它也提供了很重要的结论。其中的一个结论是关于三维空间的曲度的。

弗里德曼的理论讲道，如果在宇宙中有足够数量的物质，其平均密度超过了某个特定的临界值，那么，由于此物质的引力，空间的曲度就与球形物的曲度相似。其差别来自于这个事实，即球形物的表面是二维的，而空间是三维的。球形





物的表面是弯曲的并且自闭合；其表面是有限的。同样地，弯曲的三维空间也是自闭合。世界是闭合的。

当然，要在头脑中建立这样的闭合世界画面会是很困难的。著名的法国哲学家布莱兹·帕斯卡（Blaise Pascal）写道："人类的想象力不足以理解所有的自然之谜。"科学已经事实上教导我们去接受那些存在的、却难以用清晰的图像解释的现象。如果宇宙中物质的平均密度等于或低于临界值，空间将是无限的。这很好，但是我们实际的宇宙到底是有限的还是无限的呢？

我们确实还没有关于这个问题的最终答案。物质平均密度的临界值，是由宇宙膨胀的速率计算而得到的。它大约等于在边长为1000光年的立方体中含有5个太阳的质量。为了与临界值相比较而测量空间实际物质密度，是极其困难的。其原因是，有相当数量的非常暗淡的、甚至是完全不可见的物质，很有可能浮现于星系周围或者位于星系之间的空间。天文学家称之为"隐藏的"或者"暗"物质。要检测这种物质或者将它在计算中考虑进去是特别困难的任务。可见的恒星、行星和气体的总质量，大约达到了临界值密度的三十分之一。"暗物质质量"大约是可见物质质量的30倍。因此，如果不知道宇宙中物质的实际密度是否大于平均密度，就不知道我们的世界是闭合的还是无限的。

不过下面的事实是清楚的，即使宇宙是闭合的，它的尺度也是巨大的。它比到最远的可见星系的距离要大得多，也就是说，比100亿光年要大得多。

宇宙膨胀理论的另一个推论，对于时间长河之源的问题特别重要。

既然宇宙是膨胀的，那么星系之间的距离在过去比现在



要更近一些。

但是在更早以前，不存在星系或者任何单独的天体。在那遥远的时期，只有稠密的膨胀物质，它只是在很久以后才分裂成碎块，后来由碎块形成了天体系统。

根据这个理论，在遥远过去的更早时候，存在着物质密度为无限高的时刻。这是膨胀开始的一个时刻，宇宙在这一时刻的状态就是人们所说的“奇点”。

膨胀是多久以前开始的？基于对星系看得见的退行速度的计算显示，这个向外的运动大约开始于150亿年前。这个事件的本质是什么？在那“之前”是什么？接近于奇点处的空间和时间的属性是什么？这些问题是我们宇宙的巨大之谜。

20世纪的科学对于解决奇点问题做出了令人难忘的贡献。弗里德曼的理论描述了宇宙膨胀是怎样受引力相互作用影响的。星系之间由于惯性而彼此退行，与此同时，它们之间共有的万有引力逐渐地减缓了它们的运动，并且减慢了宇宙的膨胀。将这个理论的结论与观测数据进行的比较表明，膨胀大约开始于150亿年前。但是，这个理论没有回答是什么触发了膨胀，或者是什么赋予了物质的最初膨胀速度，而星系正是在较晚的时候从这些物质中形成的。

1965年的一个发现有望对所有这些问题提供答案。在大约3开氏度下，发现了一种很弱的电磁辐射，它均匀地分布于整个宇宙之中。电磁辐射从膨胀的最初就出现于宇宙中，正如我们所知，什克洛夫斯基称之为“原始辐射”。在膨胀的过程中，原始辐射冷却至目前的温度，而在过去，原始辐射以及物质的温度达到了极高的值。当时宇宙是热的，几乎是均匀地分布于空间中的物质压力也是巨大的。

初看起来，高压对于解释宇宙爆炸性膨胀似乎起着决定




性的作用。还记得炸弹是怎样爆炸的吧。爆破加热并气化炸药，热气体的压力迅速使炸药物质膨胀——炸弹爆炸了。似乎宇宙也是以相同的方式开始膨胀的。人们可能会认为极高的温度和巨大的压力是膨胀的原因。这个结论可能是非常错误的。在这两个现象之间存在本质的差别。

普通的爆炸导致了压力降: 从内部热气体的很高的压力，到外部相对小的大气压力。这种压力降产生了使物质抛射出去的力，而不是高压使然。如果外部的压力与内部气体的压力相等，物质就不会被抛射出去。此外，在爆炸过程中膨胀气体的密度是不均匀的: 中心处最大，离开中心的地方密度下降。在物质冲出时，由于密度和温度的下降而导致的压力下降，产生了推动膨胀气体的力。

宇宙膨胀的开始时刻，与以上描述的画面十分不同。在开始形成各个或致密或疏松的物体之前，宇宙的物质均匀地分布于空间中。温度的确很高，但在整个空间中都是如此。没有密度和压力的下降，因而不能产生引起爆炸的力。所以，热气体的高密度不是触发爆炸的原因。那么，给了物质初始速度的“原始推动”是什么？

为了了解这一点，我们需要返回到“最初”。这就需要我们知道在极高的密度和温度下物质的特性。

# 第十章

# 非常深度之旅






在我们走向时间长河之源的旅行中，我们不得不面对这个事实，即越靠近奇点，宇宙的温度就越高。因此，物质粒子的能量就越高。在这个具有巨大能量的世界上，这是一种什么样的过程？为了弄清这一点，我们暂且不谈宇宙学，而进入无限小的世界探险——这是近代基本粒子物理学的世界。

这个旅行将不得不是相当短暂的，但如果仅想知道那些对于理解发生在早期宇宙中的过程有重要作用的事实，这已经足够。

在过去的四分之一个世纪中，近代基本粒子物理学发生了一场真正的革命。组成物质的所有基本粒子现在已经清楚了，例如质子和中子，其实根本就不是自然界的“基本建筑砖石”，它们是复杂的系统，由更小的、被称为夸克的基本粒子组成。整个一类具有极不寻常特性的新粒子的存在已被确认。然而，最重要的里程碑或许是发现了各种力的惊人的统一性，而这些力直到近来还被认为是非常不相同的。这种统一在很高的能量下表现出来，因而它对于理解宇宙是如何膨胀的，具有特别重要的意义。

物理学家们已经不是第一次意识到，彼此之间如此不同的力，实际上是一个更为普遍意义上的统一体的不同表现方式而已。在电和磁相互作用中也是如此。长久以来人们已经



熟悉了这些力的表现方式，并且认为磁不会影响电荷，反之亦然。但是，安德烈－玛丽·安培(Andre-Marie Ampere)、米切尔·法拉第以及其他人所做的实验表明，运动的电荷产生磁场，而磁的运动产生电力。50年以后，詹姆斯·克拉克·麦克斯韦的电磁理论，将这些明显不相同的相互作用统一了起来——电磁场。人们那时才发现，电磁是一种现象，它只是在特定的条件下，即在电磁场不随时间而变化的条件下，才“分裂”成为电和磁。

在创建广义相对论之后不久，爱因斯坦开始了巨大的努力，试图将电磁与相对论统一起来，这是那时人们所知的两种相互作用。他的整个余生都用于此项工作。但是，当时的科学尚不足以成功地完成这项努力，甚至不能正确地判断这些努力的宏大规模与重大意义。有相当数量的物理学家对爱因斯坦的努力持非常怀疑的态度。例如，著名的物理学家沃尔夫冈·泡利（Wolfgang Pauli）喜欢含蓄地说：“人们不能将上帝认为该分离的事物结合起来”。当后来人们试图将自然中的其他力融为一体时，他们也常常遇到类似的怀疑。

1988年春天，在的里雅斯特，我问巴基斯坦有名望的物理学家阿卜杜勒·萨拉姆（Abdus Salam，他是当地的国际研究中心的主任）关于在创建统一不同力的理论中的最早努力的问题。萨拉姆回答说，30年以前几乎没有人相信他们，他还记得泡利在1957年写给他的信。信的内容大致是这样的：“我现在正在读你的论文（在苏黎世湖岸的阳光下），论文的题目《普适的费米相互作用》（*The universal Fermi interaction*）使我大为惊讶。其原因是，我遵从这个原则已有一段时间了：如果一个理论物理学家说‘普适’，他说的简直就是毫无意义的话。”




爱因斯坦的最初努力已经过去了几十年，自那之后，物理学中的情形已经发生了很大的变化。我们现在知道有四种类型的物理相互作用：引力相互作用、弱相互作用、电磁相互作用和强相互作用。

到目前为止我们谈论最多的是引力相互作用，它控制着较重物体的运动；在基本粒子的世界中，可以放心地忽略不计它。现在，必须对其他三种类型的相互作用做出一些解释。

弱相互作用过程的一个例子是一个中子衰变成一个质子、一个电子和一个反中微子。在这个相互作用和以前讨论过的引力相互作用之间，我们发现了一个本质的差别。在前文中提到过的慢运动中，只有粒子的运动状态发生了变化；与之相反，弱相互作用改变了粒子的自然本性：一个中子由一个质子、一个电子和一个反中微子取而代之。

强相互作用产生了不同的核反应（例如，热核反应或者核聚变反应），同样，也产生了不同的力，它们使中子与质子相结合而成为原子核。

通过高中时期的实验，我们已经熟悉了电力和磁力，因而，此处无需多言了。

宇宙中的所有过程，都是这四种类型相互作用的结果。在这些相互作用中究竟发生了什么？它们中最重要的事情是什么？粒子之间通过交换其他粒子——相互作用的载体子——而发生相互作用。这四种相互作用的每一种都有其载体子。

电磁相互作用是由其“载体”即光子起媒介作用的，而引力相互作用是由引力子起媒介作用的。这两种载体子总是以光速运动并且本身没有质量。物理学家称它们的质量（另一个表述是“它们的静止质量”）为零。





弱相互作用也有其“载体子”，这就是物理学家们所称的“矢量玻色子”（我不去解释为何选择这个名字）。它们和光子以及引力子之间的本质差别在于它们的质量是巨大的：比质子要重100倍。由于载体子如此之重，弱相互作用只能在极短的距离上才有可能。这个距离大约比原子核的尺寸要短1000倍。要记得原子核比原子要小10万倍。

为什么弱相互作用只在如此之短的范围之内才起作用？其原因是，要发射重的载体子，相互作用的粒子需要消耗大量的能量，但是无处可借到这个能量！然而，基本粒子的世界遵从不确定关系，在“从黑洞中获得能量”一章中我已经提到了这个关系。根据这个关系，一个粒子或系统好像可以从“无处”获得能量，但是只能持续很短的时间。这个能量越高，它能够“借”能量的持续时间就越短，然后这个“借来的”能量必须返还，否则，它就会与大自然的基本定律之一——能量守恒定律发生矛盾。以这种方式，一个粒子可以仅在一亿亿亿分之一秒的时间内，通过“从无处”借来能量而产生“矢量玻色子”，这是在发射弱相互作用载体子与它的再吸收之间最大的时间间隔。因此并不奇怪，即使以光速运动，在这段时间内，载体子也只能移动不超过原子核直径千分之一的距离，这就是弱核力的作用半径。

上面讨论的例子，展现了基本粒子世界中能量和时间之间非常特殊的关系。的确，从“无处”借来的能量的数量，与之后必须返还的“借贷”的时间间隔之间，由严格的数学公式制约着：能量越高，时间间隔就越短。注意，任何较大数量的能量，都只能“借”极短的时间。

在这里也必须提到时间和能量之间关系的另一种表现：很久以前由物理学家发现的能量守恒定律。





能量不能“凭空出现”持续较长的时期（上面讨论的无限小时间间隔不在此列），这是在持续几个世纪试图发明永动机——永久运转的机器，经过无数次的失败之后得到的结论。能量守恒定律是由德国医生尤利乌斯·迈尔（Julius Mayer）在1842年阐述的。这是个奇怪的事实：迈尔作为随船医生，在航行至印度尼西亚的爪哇岛之后得到的这个结论。对船员的静脉血液做了观察之后，使他做出了机械功和热之间可以相互转化的假定。在1842年，迈尔发表了一篇论文《关于无生命体中的力的评论》，在其中他阐述了关于能量的守恒和转化定律。几年之后，詹姆斯·焦耳（James Joule）、赫尔曼·亥姆霍兹（Hermann Helmholtz）也发现了这个定律。迈尔的工作仍不为人所知。他试图捍卫对这个定律的首先发现权，这使他产生了严重的神经紊乱。在1862年，鲁道夫·克劳修斯（Rudolf Clausius）和约翰·廷德尔（John Tyndall）注意到了他的工作，他的首先发现权获得承认。

能量守恒定律指出，一个孤立的、不与其他系统发生作用的系统，其能量不会改变，它不随时间而变化。

这个基本性质的深远意义，由德国数学家埃米·诺德（Emmi Noether）于1918年揭示了出来。她指出，能量之所以守恒，是因为时间是一致的，根据牛顿物理学，时间的所有时刻都是等同的。由于这个缘故，正如诺德以严格的数学形式指出的那样，能量在时间的所有时刻都是相等的。对于物理定律而言，这是个非常新奇的方法，它基于对称特性上，在这里，是指时间的对称性。人们也发现，其他的物理特性——物体的动量和角动量——也是由于对称特性而随时间保持守恒，这一次是空间的对称性。

这是关于物理特性和空间以及时间对称性之间深奥关系



的第一次发现。在本书的后面部分，我们将会看到，对称概念的应用，是现代物理学中最重要的思想之一。

现在让我们转向强相互作用。它的载体子是胶子，它们被组成中子和质子以及其他粒子的夸克（在本章的开头提到过）所发射和吸收。与光子一样，胶子的静止质量也为零。在电磁相互作用的情况下，载体子的发射和吸收是由于粒子的电荷；在强相互作用的情况下，胶子的发射和吸收也是由于夸克所拥有的特殊电荷。但是，这些电荷可以有三种类型，分别称之为红、黄和蓝。强相互作用有时叫做彩色力，一个夸克有这三种“颜色”中的一种。当然，这些名称与物体的普通颜色之间根本就没有任何关系。

区别强相互作用与电磁相互作用的另一个性质是，胶子也携带着彩色电荷，即它们是彩色带电的。在电磁力的情况下，我们就找不到相似的东西。它们的载体子——光子——是不带电的，拥有零电荷。

在通往微观世界的旅行中，在熟悉物质最小粒子（目前所知）的过程中，似乎可以到此止步了。然而实际上，上面描述的相当可靠地建立起来的事实，对于认识真正令人敬畏的无限小世界而言，只不过是刚刚入门而已。

这个世界的特性，与无限大宇宙的特性紧密地联系在一起。在考虑相对低的能量下的过程时，上文提供的简短信息，可以认为就像是我们所看到的“冰山一角”。微观世界中现象的真正本性要广泛得多，对于宇宙学而言，具有令人激动的意义和重要性。现在，我们将要近观冰山“水下部分”的一些方面。在此我需要提醒读者，对于专家而言，水中部分的结构还有许多是不清楚的，而且我们进入冰山越深，就越需要对某些数据做出假设。然而，这些资料是如此之重要，我




认为必须对读者有所交待，这是由于这些现象的基本特点，已经由物理学家们相当正确地确定了。

# 第十一章

# 大 统 一







当我们在“从黑洞中获得能量”一章中讨论真空——也就是虚空——的时候，我们强调指出了在其中不断地有虚粒子产生和消亡。这证明了虚空是一个复杂的实体。真空是一个非常复杂的状态，充斥着许多不同种类的“沸腾的”虚粒子。

读者应该不会对下面的说法感到过分惊讶：这个状态（即真空）的特性依赖于它的初始状态。这意味着有不同类型的虚空是可能的！

随后我们将看到一些可能的真空的例子。现在我们试图回答下面的问题：由于虚粒子间的相互作用，真空的活跃性（“沸腾”）能够导致一些能量密度的形成吗？

能量密度的确能够出现。泽利多维奇在20世纪60年代强调了这一事实。每一能量对应着一个特定的质量。因此，质量密度将和真空能量密度一起出现。看到这里读者可能会问：这是否意味着某种宇宙媒介即新“以太”正出现于我们的观念之中？如果真是这样，这样的媒介能够修正我们对绝对静止和绝对运动的概念。的确，相对于这个媒介的运动，就是相对于虚空的运动，换句话说，就是相对于绝对空间的运动。

如果我们相对于这个新“以太”运动，我们似乎应该能够感觉得到迎面而来的能量流——一种“以太风”扑面而来。这正是迈克耳孙在上个世纪还在尝试做的试验，他试图在试



验中测量出地球穿越以太时的运动。这个试验我们在前面已经介绍过了，我要提醒的是，试验得到了相反的结果。

如果新“以太”和普通的媒介相类似，“扑面风”就会检测得到。然而事实是，真空是非常不寻常的媒介。除了能量密度以外，其间还有应力，就像施压时在固体上会产生应力一样。这个应力与反向的压力大小相等，人们简单地说产生了反向压力。

在普通的媒介中，压力和应力只占总的能量密度（包括静止质量）的一小部分。真空中的反向压力是巨大的，在数量上它等于能量密度。这一异乎寻常的特性标志着真空与普通媒介的重要不同之处。

当一个观测者在这个媒介中开始运动时，能量流确实迎面而来，似乎观测者可以测量得到这个流（就是“风”）。然而，由于反向压力的缘故，也存在着另一个迎面而来的能量流。这个能量流是负的，在数值上与前一个能量流相等，完全和它抵消了，结果产生不了“风”。不管观测者做什么样的惯性运动，他总是测量得到真空的能量密度（如果不为零）和相等的反向压力，所以运动不会产生“风”。对于所有相互做惯性运动的观测者而言，真空都是一样的。

我们将会经常回到对真空的讨论，但是我们暂且不表，转而讨论基本粒子。

我已经提到过，粒子和电荷间的电磁相互作用是交换光子的结果。

弱相互作用也是由于特定电荷的缘故。电磁和弱相互作用之间的本质区别在于：后者仅在很短的距离上才能发生。我们已经看到这是由中间（载体）玻色子的巨大质量引起的。为了在很短的时间内产生和转移载体玻色子，相互作用的粒





子可能要“借”能量。因此，它们仅能在彼此间非常接近时才能以这种方式相互作用。如果所有的中间粒子（包括光子和玻色子）的质量都为零，将会发生什么呢？或者另外一个问题：在很高的温度下，如果玻色子能像光子一样容易产生，将会发生什么呢？

的确，所有的粒子在高温下都有高能量，所以没有必要为了产生大量玻色子而去“借”能量。它们已经拥有了这种能量。这些玻色子的交换就会像光子间的交换那样有效，所以在弱相互作用和电磁相互作用间就会出现完美的对称。人们发现在这种条件下(即在很高的能量下)，这两种相互作用显示了它们的内在统一性，因而合并为统一的弱电相互作用。

因此，在足够高的温度下，粒子间的相互作用就是统一的弱电相互作用（计算表明这种情况在上千万亿开氏度下就会发生）。它的载体（前已提及的玻色子和光子）数量非常多且质量为零。然而人们也发现，不仅相互作用的载体质量为零，而且以前提到过的粒子如夸克、电子等的质量也为零！在这种意义上，它们变得与光子相类似。那么温度降低了，又会发生什么呢？

电磁相互作用和弱相互作用的显而易见的对称性被破坏并消失了。为什么会这样呢？

原因是新的场和量子开始起作用，迄今为止我们对这些粒子一无所知，它们就是所谓的希格斯介子，其名字来自于它们的发现者。这些粒子破坏了对称性。要不是这些希格斯介子，所有的粒子都将保持为零质量，而电磁和弱相互作用的对称性也将得到保持。然而在谈论希格斯场以及电磁和弱相互作用的对称性的破坏这个话题之前，我希望读者回忆一个简单的试验。



设想有一个小球可以在凹陷的球状物体上滚动，无论我们将小球放在凹陷处的什么地方，小球都会向下滚动，而且在最低点附近来回滚动数次后，会停在底部。读者或许还记得，我们将一个重物举得越高，在重力场中它的势能就越大（与高度成正比）。因此，当小球放于凹陷处的斜面上的某处时，它离平衡轴线越远，其势能就越高。小球在底部时的势能最低，有时人们称小球位于势阱的底部。

至此一切都相当简单。现在试问：在一个对称的凹陷处，小球总会停在对称轴线上吗？不，并非如此。设想在凹陷处的正中央有一个小丘，现在无论我们将小球放在何处，它不会停在中央的对称点上，而是停在中央小丘旁边的最低点上。尽管带有小丘的凹陷处是非常对称的，但它的静止位置却是相当不对称的。

确实，如果我们将小球精确地放置于小丘的正中央，它将会停留在这个对称位置上。不过这不会持久，因为这个平衡位置是不稳定的，即使只有一点点的摇动，球都会滚下来，停在稳定的 * 非对称的位置上。

这个例子显示了在一个具有对称初始位置（小丘的顶部）的完全对称的系统中，是如何产生明显非对称的平衡状态的。打破对称状态的时刻和小球停下来所处的点是偶然的，这是自然而然地发生的。

让我们转回到粒子和场。在它们的相互作用中也能产生势能。势能的数量大小可以用小球在凹陷处（势阱）的位置来类似地描述。依据情况的不同，阱可能有也可能没有中央

* 原文为 unstable(不稳定的)，疑有误，球最终应停在稳定的非对称位置上——译者注。





顶端。当然了，对于读者而言，很难建立起场与凹陷处的小球之间的联系。不过，抽象的想象在科学中是广泛地采用的。在这种特别的情况下，小球离凹陷处底部的高度反映了场的势能。

让我们回到希格斯场。它们可以存在于两种状态，在高于千万亿开氏度时，场以单个基本粒子的形式存在；当温度低于这一限度时，希格斯场要经历物理学家所称的相变，它们会“冷凝”，就像热蒸汽冷却后凝成水那样。这样产生了在空间位置或者时间上独立的希格斯场的“冷凝物”。在这些新的条件下，不能以任何方式除去它，因此，换言之，这是一种真空。这恰好正是物理学家所说的：“新真空”产生了。

位于中央山丘顶部的小球的位置对应于“旧真空”。在较高的温度下，阱的形状会有所不同：斜面直接从中心升起，所以中心点是小球的稳定的平衡位置。“旧真空”有时成为“伪真空”或“类真空状态”（我们将经常使用后一名称）。当温度下降时，阱的形状变为在中心点有个小山丘。

新真空的形成相当于小球滚向最低的状态，即滚向山谷中位于小丘旁的最低能量位置。它的位置最终是不对称的，如此产生的状态是“歪斜的”。

这样希格斯场分裂成了不同的部分。一部分相当于量子，这是个重的自旋为零的粒子，且被载体粒子吸收，因此矢量玻色子本身也成为重的（我不去解释为什么会这样）。与此同时，物质粒子也增加了质量：夸克、电子等等。之所以会发生这个，是因为它们与形成新（非对称）真空的希格斯场的非对称冷凝物发生相互作用的缘故。同样，其原因和过程在此我也不作解释。这个解释会很复杂，而读者可能已经被稀奇古怪的信息弄得吃不消了。



要注意，光子作为只是电磁相互作用的载体，仍然是无质量的。

这些多层面的结果，是由希格斯场在较低温度下“滚落”至新真空的非对称状态而引起来的。

球的对称和非对称位置以及场的“下滚”能量山丘的细节，听起来可能太抽象和牵强附会了。唉！这是没办法的事，即使是很简单的解释，读者也不得不集中一定的注意力，并发挥一定的想象力。

既然“下滚”已经发生了，弱相互作用的载体获得了质量。这使得弱相互作用只在很短的时间内发生，而无质量的光子仍然使得电磁相互作用时间较长。前者的对称性尚未被承认。在高温下如此明显的对称，现在已经打破和隐藏了。

这就解释了在当今宇宙的条件下，物理学家们承认这一点为什么如此困难。然而，他们却做到了！由于创建了弱相互作用的统一理论，史蒂芬·温伯格（Stephen Weinberg）、谢尔顿·格拉肖（Sheldon Glashow）和阿卜杜勒·萨拉姆于1979年获得了诺贝尔物理奖。

宇宙在极高的温度下膨胀的最初过程的理论，是由莫斯科理论物理学家大卫·基尔日尼茨（David Kirzhnitz）提出的。后来他与年轻的同事安德烈·林德（Andrei Linde）一起继续从事这一理论研究。

在上文中勾勒出的轮廓，并非所有的细节都具有同样程度的可靠性。例如，搜寻重的希格斯介子的工作到目前为止尚未成功。从理论上说，在演化后至少有一种重粒子幸存，也必定会存在于当今的宇宙中。

现在我们回到强相互作用。经历了强相互作用的粒子（夸克）以及未受影响的粒子（例如电子），在这一方面看起




来完全不同，它们的相互转化似乎也不可能。

我已经提到了，统一的弱电相互作用始于千万亿开氏度以上。在较低的温度下，它分裂成为电磁相互作用和弱相互作用。从外表上看，它们是非常不同的相互作用。强（彩色的）相互作用即使在这个高温下也与这两种相互作用相去甚远，它与弱电相互作用一点也不相似。尽管所有的粒子都参与了弱电相互作用，但是只有夸克经历了强相互作用。

到目前为止讨论的所有过程中，没有一个能导致诸如从夸克到电子、或从夸克到反夸克的转变。当然，足够活跃的电子之间的碰撞也可能产生夸克，但只能与反夸克成对地出现，所以这两种配对粒子的总数量是相等的。同样地，夸克与反夸克的对撞导致了它们的湮灭，并转变为其他的粒子，但它们总是成对地消失，从来不会单独地消失一个夸克或反夸克。

因此，在自然界中夸克和反夸克之间的数量之差是守恒的，这个差额（精确地说，是差额除以3）被称为重子荷。到目前为止，重子荷在所有的物理试验中都是守恒的。但是，是否也存在着这种可能性：在比我们已经讨论过的还要高很多的能量下，存在着重子荷不再守恒的反应，而在较低能量下就不能存在这样的反应（因此物理学家无法发现）呢？

理论得出的结论是：这样的过程是可能的，但是仅在令人难以想象高的能量下才有可能。

我们所讨论的是在千万亿开氏度时粒子的能量。现在我们需要考虑一下当温度和能量再高万亿倍时的情形。

能量高出这么多时会发生什么呢？

首先要注意的是，能量越高，碰撞粒子能够相互接近的距离就越短。



业已表明，在一个比原子核尺寸还要小千万亿倍的微小距离上（因而能量对应着千亿亿亿开氏度），所有三种类型的相互作用（即电磁、弱、强）必定会变为同样有效并且显示出各自的特性。当能量高于此值时，一定存在着大的（普适）相互作用。

在如此之高的能量下，大量的新粒子产生了，这些粒子携带着普适相互作用。它们的质量比在讨论有关弱电相互作用时的中间玻色子的质量高出万亿倍。重的粒子只能在更高的能量下产生。以前我们从未提到过这些粒子，因为那个时候我们的注意力集中在能量充分低的领域内。

普适相互作用的载体的特性实在是令人吃惊：它们可以将夸克转化为其他的粒子，或将其他粒子转化为夸克，也可以将夸克转化为反夸克。夸克和诸如电子或中微子这样的粒子间的差别，在低温下是非常明显的，现在逐渐减小了，它们都具有同样的“超粒子”所具有的与以前截然不同的表现。这个差别的消失，意味着一种新的、更高级的对称的来临——大统一的对称。

除了我们已经遇到过的粒子以外，还有另一类希格斯介子存在于上面讨论的非常高的温度下（这些希格斯介子，与我们以前讨论过的不同）。当温度降至大统一阈值温度以下时，我们已经熟悉的希格斯机制被触发，它打破了对称性，这一次打破的是大统一的对称性。区别在于这一次是由新的希格斯介子来完成的。

当温度高于大统一温度点时，希格斯介子是自由的。当温度降低时，希格斯场的一种新的冷凝物形成了：系统新的最低能量状态，即另一种真空，这是我们书中的第三个真空。

不同的虚空，更准确地说是不同的“类真空状态”，拥有





不同的能量密度。形成希格斯冷凝物的结果，使得普适相互作用的携带者增加了质量：它们成为超重的，并且不能在低温下产生。此时统一的相互作用分裂成为强相互作用和弱电相互作用。

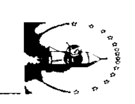
因此我们已经看到，当能量（和温度）增加时，在通常情况下特性迥异的不同类型的相互作用，将具有相同的特性，并合并为一个统一的相互作用。

因而爱因斯坦的梦想——将宇宙中所有的力统一起来，在我们这个时代正在变成现实。在大统一能量上，三种力：电磁力、弱力和强力合并成为一个力。迄今为止仅有一种力尚未统一，即作用于万物之上的万有引力。尚未完成的事情已经不多了，即在绝对超高能量下，将万有引力与大统一中已经统一了的力再统一起来。唉，这最后一步已被证明是这个理论中最困难的。

在理论物理学家们将引力与宇宙中其他的力统一起来的最后一步努力开始之前，我们必须要记得引力场的特性在实质上是几何的，这就是时空的曲率。有必要补充的是，在适当的条件下，引力场能够像电磁场那样表现出量子特性。

读者们还记得，电磁场的量子是光子。引力场的量子是引力子——这是一种迄今为止尚未发现的假想的粒子，它是引力作用的携带者。与光子一样，引力子有零静止质量，并且总是以光速运动。

爱因斯坦坚信电磁场一定也有几何的本性。他的整个后半生都致力于试图发现电磁场的几何表示，他认为正是它决定了物质的宏观特性。在其地心引力方程式的一边，我们看到的是描述了时空的曲率（即所谓的曲率张量）的量，而在另一边，我们看到的是引力和弯曲的源，即描述物质和非引




力场（所谓的物质的动量—能量张量）的量。

爱因斯坦相信，这个二元性对于最终理论而言一定是不同的和异常的。如果左边包含了几何量，右边也必须包含在本质上相同的物理本性，即几何量。对爱因斯坦而言，这意味着对物质和场的描述，必须依据几何学来进行。因费尔德回忆了爱因斯坦是怎样描述了这个差异："……相对论建立在两个基柱之上。一个是强有力而且美丽的，就好像是大理石做的，这就是曲率张量；另一个是摇摇晃晃的，就像是稻草堆成的，它就是动量—能量张量……我们只好将这个问题留到未来。"

经过30多年的研究后，爱因斯坦认为他已接近最终解决。1945年他写信给因费尔德说，他希望他已经发现了引力与电是如何彼此相关的，尽管他感到物理学理由远未找到。在统一引力和电的努力中，他附加引入了"扭曲的"时空，由它来描述电磁现象。唉，这些特殊的努力后来证明是不成功的，统一理论也没有得到发展。

在20世纪20年代，德国物理学家特奥多尔·卡卢察（Theodor Kaluza）和瑞典物理学家奥斯卡·克莱因（Oskar Klein），为在几何的基础上统一爱因斯坦的引力和麦克斯韦的电磁学而进行了新的尝试，但采用了非常不同的方法。他们认为时空远不是四维（三维空间坐标，一维时间坐标），并引入了第五维空间坐标。他们为五维世界写的曲度方程式，类似于爱因斯坦为四维世界写的方程式。人们发现，由于有附加维数的出现而出现的附加方程式，就是麦克斯韦的电动力学方程式。于是人们发现，电磁学也可以用几何学来解释，尽管解释是非常不寻常的——它与第五维相联系。

卡卢察和克莱因的努力，事实上不能认为是完全成功的。

除了有一些我们在此不便讨论的困难之外，他们的理论还有一个明显的问题：在我们的世界中，为什么这个附加的维数不能以任何真实的方式表现出来？为什么我们可以在三维空间（长度、宽度和高度）中移动，而不能在这个假想的附加维数中移动？

为了克服这个困难，卡卢察和克莱因不得不引入了许多人为痕迹很明显的假定，其根本目的是为了避免在新维数中运动。

概括起来说，统一自然力的最初的努力，只能认为多半还是初步的。我们知道，到本世纪中叶，许多物理学家对它们持非常怀疑的态度。

不过还是回到我们这个年代。在前面我描述了物理学家们对高能量下不同力的统一性的认识过程。这也包含了几何思想：对称的思想。然而，这不是真实的物理时空中的对称，而是在一个代表着粒子和场的不同状态的想象的、抽象的空间中的对称，也就是说，在描述粒子内部特性的抽象空间中的对称。

既然我们想将所有的力与引力统一起来，我们必须记得，引力是与真实时空的曲率相联系的。所以，当构造超统一时，我们需要将四维时空的几何特性与内部状态的空间特性，以某种方式统一起来。怎样能够做到这一点？这么做的目的是什么？

在讲述这些问题之前，我要先指出另外一点。当我们讨论粒子的时候，我们将它们分成了两大类：物理本性粒子和相互作用媒介粒子。这两类粒子有着非常不同的特性。当我们讨论相互作用时，这两类粒子起着完全不同的作用。中间粒子为相互作用充当媒介，好像它们是在为物质粒子“服



务”。这两类粒子不可能相互转换成对方。

然而，如果我们考虑到将所有相互作用统一成一个普适的统一相互作用，我们自然会想到，物质粒子和相互作用载体粒子是否也可以统一成某种统一体。如果这是可能的，物质粒子和相互作用载体两者都会有不同的表现。既然我们知道现代物理学将不同的东西统一了起来，例如空间和时间、或者电磁和核力，那么，将物质的组成部分和力载体统一起来的想法就不会显得那么荒谬了。

此外，人们发现万有引力与所有其他力的统一，包括了物质粒子与相互作用载体的统一，以及它们相互转换的可能性。

当然，所有力和所有粒子的超对称性，只能在非常高的能量下才表现出来，在通常的条件下，它一定被完全隐藏和破坏了，这使得物质粒子与相互作用载体、不同类型的力相互区分开。在多高的能量下，所有的基本相互作用的统一本性才能明显地表现出来？人们发现，它要比大统一的能量还要高出 10 万倍。这个能量就是所谓的“超统一能量”，它对应于 1000 万亿亿度的温度。

我在此只对超统一的一些最近的版本做非常简洁的评述。这样做有几个原因。首先，在没有公式的情况下，做出解释是非常困难的，况且本书的目的也有所不同，因而只能做一个非常简短的评述。其次，专家们对于是否抓住了这个现象的主要特征还一点把握也没有，研究也在朝着不同的方向进行。

读者们记得，卡卢察和克莱因为了将引力和电磁统一成一个对象，需要引入一个附加的维数。

现在的任务是将引力与其他所有的力以及粒子统一起来。





一个思路是通过引入新的、附加的空间维数来实现。这个思想证明是非常富有成效的。到目前为止，我们知道这个理论有多种版本，它们不是通常情况下的4个时空维数，而是10、11甚至26维（在这些理论中，似乎较为受偏爱的是10维的理论）。

这些附加维数的几何特性，使得我们可以依据一套统一的概念，来描述物质相互作用载体的特征表现。这就实现了爱因斯坦的伟大梦想。

我们以前提到的问题依然存在：为什么在我们这个世界的真实情况下，我们检测不到这些维数？也就是说，为什么我们不能在这些维数中移动，就像科幻小说中经常描写的那样？

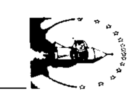
紧致化的思想概略地描绘了克服这一困难的方法。根据这一思想，附加的空间维数被扭曲并且互相靠拢（就像一张纸片中的一个维被卷成了一个圆柱体）。当能量降至普朗克能量以下时，这些附加的维数被压缩了。注意，压缩维数的半径是一个绝对小的数：它等于前面提到过的普朗克长度，这个长度比原子核的尺寸要小1万亿亿倍。

很明显，附加维数的微不足道的扩展，使得在能量相对较低的普通条件下，难以检测出这些维数。这使得只有通过力的多样性和粒子的电荷，才能感觉到它们的存在。

超对称性假设存在大量新的粒子，到目前为止，一个也没有发现过。

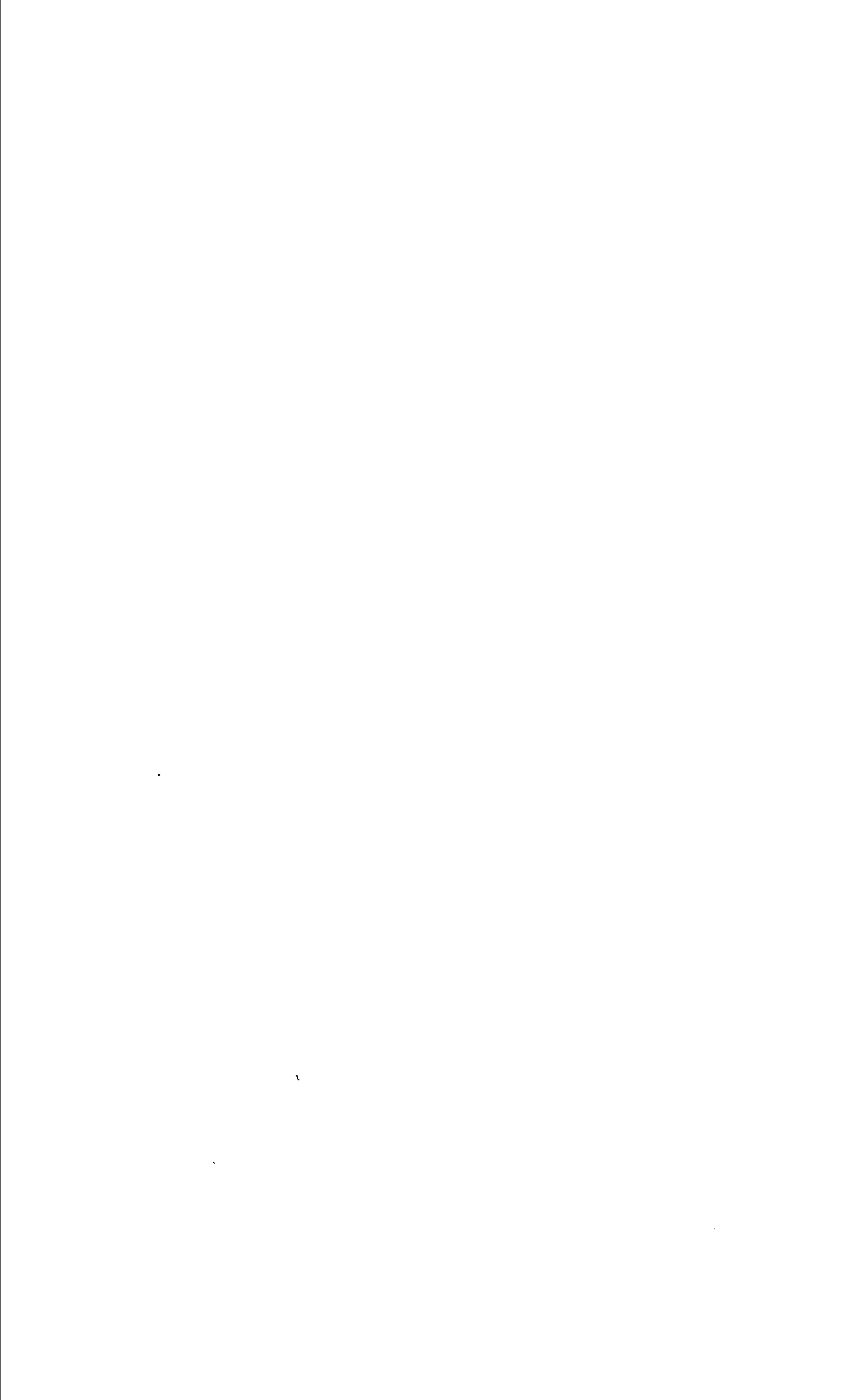
现在已有一些有关非常复杂的、奇异的粒子的理论。唉，我不得不缩短我们令人兴奋的旅行，进入尚有许多部分未被探索的领域。

对奇妙的微观世界的简短旅行，使得我们有机会看一眼，



在宇宙膨胀的最初，究竟发生了些什么，也就是说，探索一下我们的宇宙是怎样爆炸的。

前面两章很详细地讨论了现代物理学和天体物理学所取得的成就，但对时间概念的讨论就少得多。乍一看，也只是乍一看，这对于一本以时间为主角的书而言，是相当奇怪的。时间的引人注目的特性，揭示了时间的深远意义，这些特性是在发生于微观世界深处和广袤宇宙中的过程中被发现的。我们只有对这些过程有了相当详尽的了解后，才能继续关于时间的故事。



# 第十二章

# 源



我们现在启程开始通向时间长河源头的旅行。在时间最初开始的时候发生了什么？是什么引发了宇宙的膨胀？

在“通向时间长河之源”一章中我们已经看到了，时间为零时热物质的巨大压力，不可能是物质退行时的高速度的原因，因为均衡的宇宙没有压力下降，而这是产生驱动膨胀的力的惟一原因。那么什么是膨胀的原因呢？

理解“原始推动”的关键，在于在高密度和高温下存在的物质的特殊的类真空状态。

在有关大统一的一章中，我们已经见到了几个类真空状态。理论物理学家们相信，具有巨大的能量密度和相应的巨大的质量密度的惟一的类真空状态，是在“超统一”的温度下形成的。这个密度以克／立方厘米计，需写为1后面跟94个0（！）。这个数值之大，是令人难以想象的。在前面的章节中我们已经提到过，任何具有非零质量密度的真空，一定具有巨大的负压力。

根据爱因斯坦的引力理论，引力不仅是由物质产生的，而且也是由压力产生的。压力一般不大，所以与之相联系的引力可忽略不计。在类真空状态的情况下，情形就完全不同了，因为压力很大，由它产生的引力大于由质量产生的引力。然而，由于真空的压力是负的，所以它产生的不是引力而是



反引力——万有斥力！这就是问题的要点。这个现象是理解“原始推动”的关键。给定巨大的初始密度和温度后（超统一密度和温度），反引力导致了所有物质粒子的强烈的排斥力。这些粒子获得了巨大的初始退行速度，由于这一点，宇宙的超高速膨胀称为“暴涨”。

原始的类真空状态是极不稳定的，这一点也很重要。它仅存在了大约1000亿亿亿亿分之一秒的时间！然后它就被破坏了，其质量密度转变成为“普通的”具有巨大能量（我们在前面章节中讨论过）的超基本粒子。这就是类真空状态在那一刻、在1000亿亿亿开氏度下，是如何产生热宇宙的。

由于反引力的缘故，原始真空产生的粒子具有很高的初始退行速度。然而，由于“超真空”被破坏了，这些力消失了，并被普通的引力替代了。这些新诞生的、向外飞行的热物体，数十亿年以后变得非常稀少并且冷却下来，分裂成了许多碎片，并在后一阶段从这些碎片中形成了星系、恒星和恒星系。在这一演化过程中发生的物理过程，有许多书，其中包括了一些科普读物描写了其具体过程。因此，我将对这一话题做一很简要的叙述。

一旦“伪真空”受到了破坏、宇宙被加热，产生了基本粒子的非常特殊的超热等离子体，以及它们所有可能类型的反粒子。它们彼此之间进行了剧烈的相互作用。

当宇宙膨胀时，温度下降了。在膨胀开始十分之一秒后，温度下降到300亿开氏度。热物体含有大量的高能量的光子，它们的密度和能量是如此之高，致使光与光之间发生了相互作用，产生了电子—正电子对。

正负电子对的湮灭产生了光子以及中微子—反中微子对。普通的物质也出现在这个沸腾的“大锅炉”中，但是在很高





的温度下，复杂的原子核不能存活：它们立即被周围的高能粒子击破。因此，物质只能以中子和质子的形式存在。由于不断地与大锅炉中的高能粒子相互作用，中子和质子迅速地相互转换，但不能结合进入原子核，因为它们周围的高能粒子立即将它们撞开。这就是为什么本应导致形成氦和其他较重元素的事件链，在最初的时候被高温打断了的原因。

膨胀开始几分钟后，宇宙的温度下降至10亿开氏度以下。现在，中子和质子能够结合并形成氘原子核。新诞生的氘原子核，进入了更进一步的原子核反应链，直到形成了氦原子核。这是在早期宇宙中合成原子核的最后一个阶段。

计算表明，原始物质一定含有大约25%的氦，余下的75%含有氢原子核（质子）。观测结果进一步证实，在宇宙中最古老的恒星中，含有支持热宇宙理论预言的成分。更重一些的元素的原子核，通过恒星内部的核反应过程在宇宙中合成了，但是要晚得多（与我们相近的时代）。

早期宇宙的核反应，在宇宙膨胀开始5分钟后停止了。到此时，所有含有基本粒子的活跃过程都已经完成了，在随后相当长的时期内，宇宙中都没有发生“令人感兴趣”的事情。

由于高温的缘故，膨胀的物质始终保持离子化（这样的物质就是人们所知的等离子体）。稠密的等离子体难以传导辐射，因此，辐射决定了压力。小振幅的密集振动（声波），通过等离子体和辐射的混合体传播。在膨胀的物质中，不存在其他的过程。

这种暗淡无光的时期过去30万年后，等离子体才冷却至4000度，并成为中性气体（原子核捕获了自由电子）。这个气体对原始辐射变得是可以穿透的。现在，它的压力仅由中性原子的运动所决定（辐射压力消失了），气体的弹力引人注



目地降低了，而所谓的引力不稳定性机制变得重要。这一过程的理论，是由莫斯科物理学家利夫席茨于1946年提出的。

当时具有相当大线性尺度的、较高密度的声波丛，由于引力而变得越来越大。最后，这些较高密度的区域形成了大的云团，进而进化成星系和星系簇。在星系内部出现了恒星。

不过，这是另一个故事了。我们还是回到最初吧。

我们看一下类真空状态是怎样产生原始推动的。现代天体物理学告诉我们，这是隐藏在宇宙神秘诞生后面的秘密。

类真空状态的第一次“隆起”以及后来的引力，可能产生于由格林纳（E. Gliner）阐述的宇宙膨胀开始时的超密物质中，他是圣彼得堡（后为列宁格勒）的物理学家。他于20世纪60年代末来到莫斯科，描绘对“趾高气扬”的宇宙学以及相关科学的假设。唉，人们不理解他的理论，与其他所有人一样，我也一点不理解。我的观点是，巨大的负压力在自然中是不能实现的，因此，考虑反引力是没有意义的。几乎每一个人都那样推论，我也缺乏想象力。然而，两个莫斯科物理学家，大卫·基尔日尼茨和安德烈·林德，在1972年初指出，这种类型的状态，确实可以在膨胀的宇宙中出现。稍后，这些思想被列宁格勒的格林纳、古列维奇（L. Gurevich）和迪姆尼科瓦（I. Dymnikova）发展并应用于宇宙学，后来，吸收了高能物理的最新成就后，又被美国的古思（A. Guth）、阿尔布雷克特（A. Albrecht）和斯坦哈特（P. Steinhart），以及俄国的林德、斯塔罗宾斯基和其他人应用于宇宙学中。

在这一点上有一系列的问题，首先一个是：“在这之前是些什么？”

这是个困难的问题。不仅是几十年前，就是现在也没有这个问题的答案。而且，在我从事科学工作的时候，有些苏




联哲学家认为这个问题是反科学、反马克思主义的。“胡说！你说宇宙有起点？那么，是上帝创造的啰？”诸如此类的责难让人无从辩解。在经过四分之一世纪多的大量研究之后，关于宇宙最初的问题以及“之前是什么”的问题逐渐地被回答和澄清了。

正如我以前所说，膨胀可能开始于超密的类真空状态和极高的温度。时空的曲率以及它引起的潮汐力，可以与黑洞奇点中的情形相比。宇宙最初开始时的奇点（人们所说的宇宙奇点），在许多方面与黑洞的奇点相类似。然而，也有重要的不同之处。首先，宇宙奇点发生在整个宇宙，而不像黑洞那样发生在某个局部区域。其次，我们发现它不是在收缩阶段（就像黑洞奇点那样），而是在膨胀的过程中。

后一点具有特别重要的意义。我们不能从黑洞的外面看到黑洞的奇点，它也不能以任何方式影响宇宙中黑洞外面的事件（英国理论物理学家罗杰·彭罗斯称这一特点为“宇宙保密原则”）。与之相反，宇宙奇点是膨胀宇宙中所有过程的源。我们今天观测到的任何事物，都是奇点的结果。在这种意义上说，我们可以通过观察它的结果来研究宇宙奇点：我们可以使之“可视化”。

莫斯科物理学家弗拉基米尔·别林斯基（Vladimir Belinsky）、欧格尼·利夫席茨和伊萨克·哈拉特尼科夫，找到了描述接近于奇点的物质运动方程式最普通的解。我们所说的关于黑洞奇点的一切，对于宇宙奇点而言都是成立的。在奇点之前有什么？是先前被压缩的物质和通常的时间流逝吗？

我们现在仍然不知道这些问题的答案。不过，有许多专家持这种观点，即没有收缩阶段，黑洞奇点是“时间小溪”的



水池，在这个意义上，可以说宇宙奇点是时间长河的源。这意味着在宇宙奇点处的时间，也衰变成为量子，因此，“在奇点之前有什么”的问题就变得没有意义了。

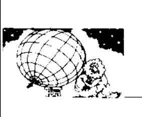
在这个领域还有许多是未确定的。很有可能存在像时空量子“泡沫”那样的一些东西，在上面介绍的时间和空间尺度上靠近于奇点，物理学家们说，空间和时间在经历量子涨落。微小的“虚”的闭合宇宙，还有虚的黑洞和白洞，不断地诞生并立即消失。时空的这种极微小的“沸腾”，在某些方面类似于虚粒子的产生和灭绝，这个内容是在描述真空的量子本性时我们讨论过的。

读者们还应记得，在很小空间尺度下的如此高的能量上，空间可能有多于三个的维数。附加的维数保持着“卷入”、“压缩”，而在三维空间里，宇宙膨胀并转变成为我们所知的“我们的宇宙”。

这是在20世纪80年代前5年里，强烈吸引着安德烈·德米特里耶维奇·萨哈罗夫的一系列问题。于是，他讨论了从特殊的物质状态中，由量子过程产生宇宙的可能性。在此特殊的状态中，时间不是一维的（正如今天的宇宙），而是二维、三维的（即，时间有“长”、“宽”、“高”，……），甚至状态只有空间（多于三维），而没有时间。

萨哈罗夫还假设，在我们目前宇宙中的、一个仅能由具有极高能量（远远超过最新的加速器的极限）的粒子进入研究的、极微小的区域里，时间有许多维，并“扭曲”成超压缩的编织物，这些“编织物”表现出了不同于基本粒子的非常特殊的特性。

时间是随着宇宙的大爆炸而诞生的，还是宇宙诞生之前就已经存在了？我与两位著名的科学家在1988年秋就此问题





进行了充满好奇的谈话，这两位科学家一个是卢费尼，在前面我们已经见到过；另一个是梵蒂冈天文台的主任科因（G. V. Coyne)。

读者们对此不应感到惊讶：梵蒂冈有天文学家，从事着天体物理学最先进的研究，而且我们会见了他们并与他们讨论了许多问题。最知名的宇宙学家之一，比利时人乔治·勒迈特，曾对弗里德曼的理论的发展做出过很大的贡献，并建立了理论与观测资料之间的联系，他于1960~1966年间担任了梵蒂冈的教皇学会主席职务。

今天的世界是复杂的、多样性的，并逐步变得更加开放和相互关联。罗马教皇约翰·保罗二世曾经举行过天文学和空间探测团体代表的接待会。在梵蒂冈的接待厅里聆听教皇的演讲时，我感到了少许的不安。教皇号召和平探索外层空间，联合所有人的努力，并使科学取得更为成功的进步。演讲引起了我在感觉、情绪、知识和信仰几个方面的复杂的情感交集。就我所知，我的同事也有类似的反应。

当我和科因在莫斯科会面时，我决定询问他对时间概念的看法，为何时间从过去流向未来。面对我的问题，他多少感到有点为难，对此我并不感到意外：几乎所有的人面对这个问题时，都会感到为难。的确，这是一个最简单的、“孩子气”的、却特别难以回答的问题（见“俄文版前言”)。短暂的停顿后，科因说，尽管他可以从物理学中重复那些我肯定熟悉的老掉牙的句子（稍后我们会看到)，但他宁愿将我的注意力转向圣奥古斯丁（Saint Augustine）关于时间的一些思想。在前言中，我已经引用了圣奥古斯丁的话。科因提醒我说，奥古斯丁一直坚持认为时间是与宇宙一起创造的。因此，关于在宇宙诞生之前有些什么的问题，就是没有意义




的了，因为没有“之前”，也就没有时间。这是个意义深远的评论。

站在今天的知识立场上来看，我们应该说，时间在奇点处彻底改变了它的特性，而膨胀开始的时刻，就是我们持续不断的时间长河的源。关于超密奇异状态，我们还有其他的看法吗？美国物理学家约翰·惠勒，对奇异状态下空间和时间衰变成量子的思想，已经研究几十年了。约翰·惠勒是现代理论物理的创始人之一，但即使在他高龄时，他仍然精力充沛，周游世界，参加会议，与同事交谈，此外，他从未丢掉与生俱来的幽默感。1992年夏天，他对我现在居住的哥本哈根进行了为时几天的访问，当然，这次访问是我事先没有想到的。在这次会面之前几个月，我收到了他给我写的信，问我在1992年6月5日星期五上午9点半是否有近1小时的空闲时间，因为他很想见到我。读到这封信时我几乎晕倒了。这么精确的时间可不是在开玩笑，惠勒是非常认真的。我回信说我会尽量安排，尽管我不知道还有半年的时间会发生什么；对于一个还是如此忙碌的人，且能将日程安排在半年多之前，我只能充满了羡慕，并击掌喝彩。

我们确实会面了，并就黑洞物理学的当前问题进行了生动的讨论，因为那时我的朋友和同事瓦列里·弗罗洛夫与我一起，正在写一本关于这个话题的新版本的专著。惠勒离开之前，我问他：“约翰，你作为物理学几个革命性进展的先锋，此外，你还由于对现代物理学许多意义深远的概念做了简明扼要的定义而闻名于世，你能试着阐述一下时间是什么吗？我的一本物理普及书需要它，这本书将要翻译成英文。”

约翰沉思了良久，我怀疑他已经睡着了（我们刚吃了一顿很好的午餐）。实际上，他是陷入了深思。睁开眼后，他很

认真地说:“我还要思考一下，会给你写信的”。在接下来的那个月里，约翰访问了欧洲的数个地方；回到美国后，他没有忘记我的请求，下面是我收到的他的信[一起寄过来的还有他的一本书《时间边界》(*Frontiers of Time*)，上面有他的手写的题词:“献给伊戈尔——祝你青春常在！——约翰于1992年9月25日”]:“你要我给你一句格言。在得克萨斯州奥斯汀那里，男人房间的墙壁上有许多涂鸦，其中一个是:‘时间是防止万物突然发生的自然方式’。”

让我们回到宇宙奇异状态时空间和时间的“量子泡沫”。它是下述事物的复杂混合物：出现后又突然消失的黑洞与白洞、很小的闭合的小宇宙、更为复杂的结构以及它们的联合体。有一个假设是由我们已知的物理学家安德烈·林德提出的（他曾在莫斯科工作，但现在是位于美国伯克利的加利福尼亚大学的教授），它是个惊人的设想:“量子泡沫”中的一个微小泡沫成长为我们的宇宙。泡沫的一次偶然涨落，引起了密度的随机下降，并降至比初始水平低得多的数值上。在这个减小了的密度上（尽管减小了，还是比通常的数值要高得难以想象)，真空的万有斥力支配着随机的量子波涨落，因此泡沫急剧地成长了，并转变成为“我们的”宇宙。但是我们要记住，这是一个非常罕有的事件，泡沫的绝大部分立即灭绝了，返回到初始状态。读者们记住这些事件的时间尺度是极小的:

世界曾经变幻
从产生到消亡，
像河中的水泡、像火花
瞬间改变了。

雪莱（Percy Bysshe Shelley)



根据这个假设，宇宙是由“瞬间泡沫”非常罕见地、爆发式地产生了。它们的特性可能彼此之间各不相同，包括空间维数、时间特性、自然法则……我们生活在这样一个世界中，其演化的条件和智慧生物的诞生是偶然地实现的。

我需要强调的是，超出泡沫（我们的宇宙）边界的“物质之前”的主要部分，正如它们一直以来的那样，仍然处于“量子沸腾”之中。在谈论到时间量子的时候，读者们不应忘记概念“现在”和“一直”的条件限制。

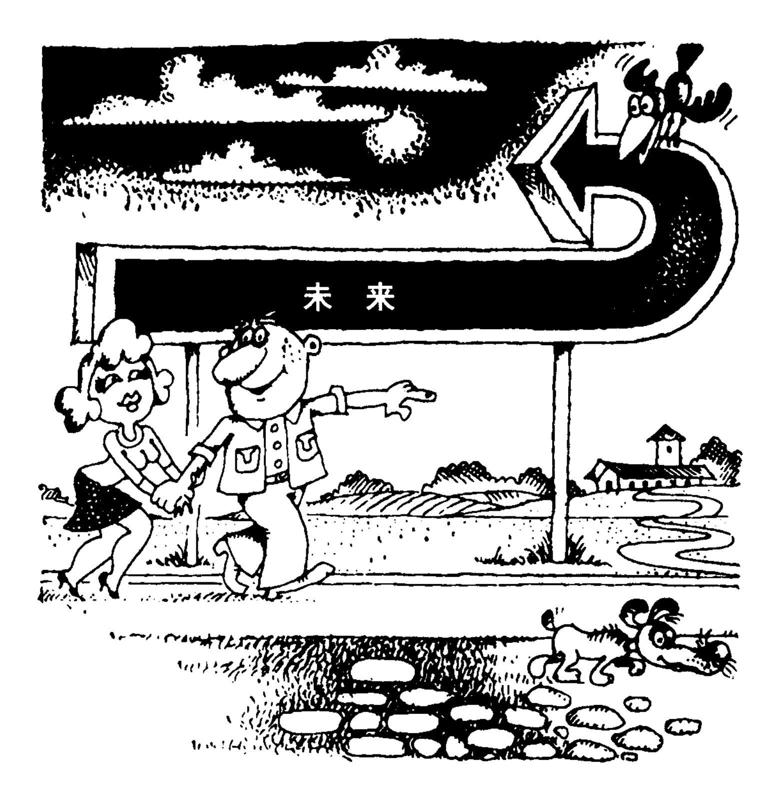
这是林德如此描绘的宇宙画面：新宇宙不停地产生（并在坍缩后消亡）；永恒不息地爆发。

由弗里德曼和埃德温·哈勃发现的膨胀的宇宙，即“我们的宇宙”，只是在近来显得过于复杂了，因为有些事情与人类的想象相抵触；现在则更像一粒沙粒，在时间的汹涌的河流中，沿着曲折艰险的河床奔涌向前。



# 第十三章

# 是什么创造了时间流？为什么它是单向的？



当代科学已经揭示了时间和物理过程之间的联系，这使得“摸索”过去的时间链的第一环、并勾勒出遥远未来的时间特性成为可能。

但是对于时间为何一直在流逝，且只能从过去流向未来，现代科学该如何解释？我会立即说，专家们对这个问题还缺少彻底的、清楚的且广为接受的答案。然而，在这个领域也取得了大量的成就，我们就来快速地浏览一下在时间科学方面所取得的一些成就。

在牛顿学说之后的年代，物理学家们一直在强调自然法则的一个不寻常的特性：它们没有以任何方式挑选从过去到未来的时间流方向。

我们通过看最简单的力学问题就可以认清这个事实。例如，让一个球沿着一个表面滚动，以一定的角度撞向墙，弹回来后继续滚动。我们可以在头脑中想象，使时间倒流，并设想球以相反的方向滚动，以相反的次序通过轨迹上的所有的点。就像我们将实验过程摄制成电影，然后从最后一帧放映电影。不管时间是正向流逝还是倒流，描述球运动的力学定律都同样有效。

再考虑一个较为复杂的问题。一个依据约翰尼斯·开普勒定律绕太阳旋转的行星，如果我们将时间倒流（用物理学





家们的话来说，将时间的符号从“正”反演为“负”)，我们得到的是行星沿着同样的轨道运行，但是运动方向相反，行星的运动依然会很好地服从开普勒定律。

因此，牛顿的物理定律同样好地描述了向前和向后运动，它们之间没有区别。这些定律没有支配时间流从过去流向未来。物理学家们称此为时间对称性或时间不变性。不仅是牛顿定律，而且电磁学定律、狭义相对论和广义相对论，都表现出了同样的特性。

时间不变性使得人们可以计算事件结果，不管是指向未来、还是指向过去。例如，天体力学的定律用于计算未来的运动，因此，可以预测哈雷彗星何时光临我们的天空；我们也可以同样精确地计算出，在遥远的过去，彗星何时光顾过太阳和地球。观察资料证实了这些计算的正确性和准确性。

在18世纪和19世纪上半叶，人们几乎认定，自然界中的所有过程都可以最终简化成为机械运动和粒子间的相互作用，即它们间的吸引力和排斥力。既然这样，控制这些运动的定律，原则上可用于计算在时间上任意远的过去或未来。

宇宙的过去和未来，因此可以同样确定地计算出来。它们是由宇宙中的所有粒子在某个特定的时刻的位置和速度所完全预先决定的——这是天体力学的创立者、法国的天文学家和数学家皮埃尔·西蒙·德拉普拉斯（Pierre Simon de Laplace，1749～1827）的观点。他写道：

……必须将宇宙现在的状态，看成是过去状态的结果以及是后续状态的原因。一个智者，若是在某一时刻知道自然中所有的力、组成部分的相对位置，并且有足够的能力将知识应用于分析，他就能将宇宙中从最大的物体到最轻的原子的运动包含在一个公式中，不会有什么东西是不可了解的，





不管是未来还是过去，都将一览无余。

拉普拉斯（1820）

圣彼得堡的物理学家切尔宁评论道:“在我们这个时代支持拉普拉斯观点的人可以这样说：未来好像记录在一卷电影胶片上，被打开并且放映给我们。影片可以向前观看（向未来）、也可以向后观看（向过去）。”

那么，自然法则不能区分过去和未来吗？它们允许在过去和未来两个时间方向上都具有相同自由度的运动吗？然而，为什么时间只朝一个方向运动？我们确切地知道时间正是如此。我们记得过去的事情，甚至过去遥远的事件也在我们的记忆中留下了痕迹。然而，我们不记得将来的任何事情！过去在我们的后面，不能以任何方式改变它，而未来却是可以影响的。无论是从积累的科学知识，还是从我们的日常经验，我们都能知道这一切。自然界中的时间流没有对称性，物理学家们称时间是完全各向异性的。然而，这决不影响物质运动的定律。

事实上，我必须增加一个很重要的限制条件。

美国物理学家克罗宁（J. Cronin）和菲奇（W. Fitch）于1964年发现了一个不符合时间不变性的过程，换句话说，这个过程对时间流的方向是敏感的。16年以后，克罗宁和菲奇因为这个发现而获得了诺贝尔奖。

他们发现，一个不稳定粒子即中性K介子，在产生衰变时能感觉得到时间流的方向。这是产生时间流的解释吗？如果存在着不遵从时间不变性的过程，它能决定时间流的方向和流逝的速度吗？

不幸的是，克罗宁和菲奇的发现，似乎不能揭示时间的奥秘。非常特殊的时间不对称过程很少发生，且仅发生在奇



异粒子上。然而，我们知道，时间有方向性的流逝是显而易见的，不管宇宙中发生了什么，对所有事情都是这样且从来如此。要想描绘出罕有的奇异过程是如何控制无所不在的、有方向性的时间流是不可能的（至少目前如此）。好吧，既然罕有的过程不能解释时间流的产生，那么又是什么呢？

在强调基本过程的时间可逆性的同时，物理学家们很久以前就证实了复杂过程的时间不可逆转性，这样的过程因此而被称为不可逆的。人们在上个世纪*就认识到了这一点。让我们来看一个简单的例子，一滴墨水滴入广口瓶中的水中，墨水迅速地扩散，所以整个容器中的液体都成为一种颜色。每一个人都可以观察到这个现象。可是，从来没有一个人能看到以相反方向进行的过程：墨水粒子从整个容器中聚集起来形成墨水滴。为什么会是这样？描述水分子和墨水分子的运动和相互作用的定律难道不是时间不变的吗？如果容器中水和墨水的所有粒子，在某一点上给定与原来恰好完全相反的速度，而且忽略所有的外部影响，那么，容器中的所有事件都会以时间上相反的顺序重现，所以，墨水会自己聚集起来形成墨水滴。因此，这样的情形是可能的！

是的，这在原理上是可能的，但是，从来没有发生过。事实是，墨水聚集形成墨水滴——尽管有这种可能性——是一个令人难以置信的小概率事件。在进入细节之前，我们来看一下在物理课堂上演示给中学生看的一个实验。

拿着一根铁棒，加热它并放入装有冷水的容器中。铁棒将会冷却下来，水温将会上升，最后它们的温度相等。这个过程总是这样进行的。热量绝对不会从冷水中传导给热铁棒，

* 这里指的是19世纪——译者注。




使它的温度进一步升高。

可是为什么这是不可能的呢？将热量从冷物体传导给热物体，并没有违反能量守恒定律。热能从一个物体传导给另一个物体时是守恒的。然而，由于某种原因，传导只能朝一个方向进行：从热物体传导给冷物体。

这是不可逆过程的又一个例子，类似于墨水滴的扩散。这些例子很相像。的确，我们知道热是分子的无序运动。因此，如果所有水分子和铁棒分子的运动速度，改变成相反方向的速度，而且我们再一次排除外界因素，那么，过程将会以时间相反的顺序进行（的确，分子的运动是由时间不变性的定律描述的！）。因此，热将会从冷物体中传导给热物体。然而，在现实世界中从未发生过。

为什么不可逆性总是出现在类似这样的过程中，即使它们都是由确定的、时间可逆的粒子运动组成的？可逆性在哪里、又是如何被破坏的呢？

这个难题已经在19世纪解决了。

德国物理学家鲁道夫·克劳修斯在1850年、英国物理学家威廉·汤姆森（William Thomson）和开尔文勋爵在1851年，各自发现了人们所知的热力学第二定律。这个定律本质上是上述实验的概括，从这个定律中可以得到一个推论：热量总是从热物体向冷物体传导（稍后我将叙述对水滴的观测）。下面是汤姆森阐述的定律：在自然界中不可能存在这样的过程，它的惟一结果是以热源的冷却为代价得到的机械功。这句话直接意味着，将热完全转化为机械能或其他类型的能是不可能的。这就是说，如果一个系统是隔离的，那么，这个系统的所有类型的能最终都将转化为热能，热会均匀地扩散到整个系统，所谓的热力学平衡就会到来。





我们完全知道这个定律在现实中是怎样表现出来的。例如，机械系统的摩擦力，将一些机械能转化为热能。然而在热机中，我们可以将热能转化为机械能，但是，只有在加热器和机械的吸热装置之间存在温差时才行，否则，它就不会工作。这意味着能量的消耗，其中一部分转化为热能。在这个过程中产生的热能，大于热机转化的机械能，这导致从所有其他的能转化为热能的积累，从来没有停止过。克劳修斯后来给出了这个过程的数学表达式。

克劳修斯和汤姆森关于热力学的思想，后来被路德维希·波尔茨曼（Ludwig Boltzmann）发展和推广了，他揭示了热力学第二定律的意义：热实际上是组成物质的原子和分子的无序运动。因此，系统每一组成部分的机械运动的能量转化为热能，意味着系统大块整体有秩序的运动转化为最小粒子的无序运动，这也就是说，由于粒子的随机运动，使得无序的增加是不可避免的，除非系统受到外界的影响以维持其秩序水平。

波尔茨曼指出，系统无序的度量，是由克劳修斯引入的熵值确定的。无序度越大，熵值越高。物质不同类型的运动转化为热能意味着熵的增加。当所有形式的能量都转化成热能，而且热已均匀地传播至整个系统，最大无序状态就不再随时间而变化，相应于熵值达到最大值。

这是事情的要点！在一个包含许多粒子或其他元素的复杂系统里，由于大量相互作用的随意性，其结果必然使得无序度（混乱度）增加。熵正是用于测量无序度的。当然，只有当没有采取特殊的措施来维持有序度的时候，混乱度才会增强，但是系统因此而必须被监控，过程也必定受到外界的影响。所以，当讨论例子的时候，我强调了不存在这些外部




因素的影响。

在热铁棒和冷水的例子中，热铁棒分子具有较高的能量，它将能量传递给具有较低能量的水分子的概率要高得多。当整个容器的温度达到相等时，显然这个状态的无序度，比某处具有较高能量“热”分子、另一处具有较低能量“冷”分子的状态的无序度要高一些。由于这个缘故，自然界中的过程，总是趋向于使温度达到平衡。我们已经指出了，这对应着向最大无序度状态的转化。

在墨水实验中也有同样的结论。使分子扩散至整个容器的随机相互作用，其概率比分子聚集形成墨水滴的概率要高得多。在装有水的容器中的分子的均匀散布，对应着最大的无序度。

如果一个过程从局部有序的状态开始，那么，在没有外部影响的情况下，它将朝较大无序度发展。

如果我们希望在系统中产生较大的有序度，就需要向它施加外部影响。例如，我们可以将热从冷物体传向较暖的物体，这就是在冰箱中发生的：它们从低温下的冷藏室里吸收热量传向周围的空气，周围空气的温度比冷藏室的温度高。不过，这需要电机的工作并消耗能量。

通过大系统的影响，使一个系统出现更为有序的状态时，我们不可避免地额外增加了这个大系统的无序度，这一点是很重要的。例如，从冷藏室吸热散向周围的空气，意味着电机在空气中产生了额外的热，使它的温度更高，并增加了空气中分子运动的无序度。热力学定律指出，增加至较大系统的“混乱度”，必然比引入较小系统的“有序度”要大。因此，尽管在世界的某个局部区域里有可能建立有序，但是，整个世界的“混乱度”和熵却一定是增加的。



汤姆森和克劳修斯意识到，他们发现的定律对于宇宙的进化具有异乎寻常的重要性。的确，世界和“其他系统”间的能量交换是不可能的，必须将宇宙作为孤立的系统来处理。所以，宇宙中所有类型的能量，最终都会转化成热，并均匀地散布于物质上，之后，所有的宏观运动会消失。尽管没有违背能量守恒定律，能量没有消失，它以热的形式存在，但它“失去了所有的力量”，没有机会转化成其他的能，也没有可能做运动功。这个凄楚的状态就是人们所知的宇宙的“热寂”。读者们大概会赞成这个名词，它很准确地概括了这个状态的真实本质。

我们现在知道，作为汤姆森和克劳修斯的推断的热寂结论，对于宇宙是无效的。原因是宇宙是非静止的，在过去它爆炸过，此外，发生在宇宙中的所有过程中的一个重要因素是万有引力。热力学的创立者不可能将这些所有因素考虑在内。我们已经详细地描述了宇宙是怎样进化的。当我们打开这本书的时候，世界上正进行着激烈的诞生和进化过程。然而，我们需要强调的是，宇宙中的熵持续不断增加的结论仍然是正确的。

因此，宇宙中的不可逆过程是熵的增长。这个过程能支配时间流的方向吗？有一点是不容置疑的：不可逆过程的方向性，作为整个宇宙的一般趋势，与时间长河流逝的方向性，在某些方面有共同之处。然而，我们回忆一下，时间“行驶”在任何过程之中，即使是最简单的过程也是如此。注意，所有这样的过程，尽管彼此间的发生地相距甚远，但时间的流逝——就我们所能见到的——是完全同时性、同方向的。是什么引起了同时性？时间会受到整个宇宙中熵的普遍增加的影响吗？也许是的，但迄今为止我们对这个影响还一无所知。




如果你寻找可能会影响时间流方向的全球自然现象，宇宙的膨胀似乎是最可能的候选者。

是否有这种可能性：时间的方向，与大膨胀期间星系间的距离增加过程的方向是一致的？这个思想是英国理论物理学家弗雷德·霍伊尔（Fred Hoyle）提出的。

阿瑟·埃丁顿甚至发明了一个特殊的短语来表示时间流的方向："时间箭头"。埃丁顿、霍伊尔和其他一些人相信"时间箭头"的存在，因为宇宙确实在膨胀。将来，如果像这些科学家相信的那样，膨胀被收缩所代替，"时间箭头"的方向就会相应地反过来。

如果宇宙的膨胀和星系的退行影响了太空每一处的现象，那么这个假设是值得讨论的，例如，如果伴随着宇宙的膨胀，它们导致了所有物体和长度的伸展，比如恒星和行星的大小、我们的身体、原子和原子核。然而，没有发现这一类现象。

当今宇宙中的星系的向外运动，不影响恒星的进程或者它们的尺度、或者其他天体的尺度、或者物质原子的尺度。由于没有实际的影响，所以很难接受这样的结论，即星系的退行可能影响时间在下列过程中流逝的速度，比如发生在行星间的过程，或者基本粒子的反应过程。雅科夫·泽利多维奇断然地反对"时间箭头"的方向源自于宇宙膨胀的说法。

下面这个例子，来自于我和雅科夫·泽利多维奇写的专著《宇宙的结构与演化》(*Evolution of the Universe*):

想象一个以低于逃逸速度的速度发射的火箭……火箭先是离开地球向上运动，到达最高点，然后开始下落。

很明显，在火箭中没有什么定律经历了急剧的变化：火箭中的时钟依然无变化地滴滴哒哒地走着，等等。在闭合的宇宙中，从膨胀到收缩的转化，类似于火箭从上升到下降的



转变。因此很明显，在宇宙达到最大膨胀的时刻，“时间箭头”不会经历方向的转变。例如，如果确实发生了反向，那么，在收缩的宇宙中的光线就会倾注入恒星，而不是从恒星中发射出来并消失在宇宙空间中。其他类似的无意义的例子还可以给出一些……事实上，在膨胀被收缩取代后，宇宙中的辐射密度还会长期保持低水平，恒星依然发光，宇宙中所有的局部过程都会以相同的方向继续。

“时间箭头”和膨胀之间的关系，毫无疑问是我们宇宙目前的一个很重要的特性，但是我们不能用这个关系来决定未来的“时间箭头”的方向。这个推论是很基本的。此处再一次重复它们的惟一的理由，是文学作品中一再出现的错误观点。

自然中有另一类过程，明确地“感觉到”时间只能以一个方向流逝。这些过程就是那些使我们感到时间是从过去流向未来的心理过程。这个“心理时间箭头”的方向基于这个事实：我们记得的是过去而不是未来。

于是，至少在当今的宇宙里，我们看到了三种类型的、在时间上非对称且朝着一个方向进化的自然现象。

第一种类型是热力学过程。它们朝着增加混乱度和熵的方向演化。这样的过程定义了“热力学时间箭头”。

第二类现象是我们宇宙的膨胀：它给出了“宇宙学时间箭头”。

第三类现象包括了能给出时间流逝主观感受的心理过程。我们对过去的记忆和对未来的不知晓，提供了“心理学时间箭头”。

令人感到困惑的事实是，所有三种“箭头”在今天我们的宇宙中，都指向相同的方向。





史蒂芬·霍金在他那本出版于1988年的名著《时间简史》里讨论了这个问题。在这里，我重复一些他的论点，为适应本书的上下文，做了些微的改编。

让我们从“热力学时间箭头”开始吧。我们已经知道，由于增加混乱度的路径的数量，总是比通向有序的路径的数量要多得多，所以这个箭头总是指向增加无序度的方向。我们可以表明，“心理学时间箭头”一定与“热力学时间箭头”相符。

我们来看一下我们的大脑、或者其简化的计算机模型，是如何存储信息的。一台计算机要比人类大脑简单得多，所以我们来看看它的存储器是如何工作的。存储体包含有大量的可以有两种状态的元件。想象一个像算盘的设备，它有许多水平的铁条，珠子可在铁条上滑动。一个珠子只能占据两个位置中的一个：移到最左边或者移到最右边。众所周知，任何消息、任何信息都可以表示为一系列的0和1。我们假定，珠子移向左边代表0，珠子移向右边代表1。现在很明显，如果以一定的顺序在铁条上移动珠子至指定的位置（左或者右），任何信息都可以在足够长的“算盘”上表示出来。数据可以以这种形式存储，所以，这是个“存储器”。当然，真正的计算机和我们的大脑，在“工艺”上与这个存储器有很大的差别，但是它们的基本原理是相同的，而这是我们现在需要知道的。

为了在“存储器”中记忆一些信息，我们需要以正确的方法在铁条上移动珠子，并且确信它们的位置是正确的。所有这一切需要能量的消耗并以热的形式散发（在电子计算机中，计算机工作和冷却下来时都会散发热量）。为了“记忆”而散发出的热量，使得周围的空气变暖，因此增加了宇宙的





“混乱度”(熵)。熵的增加总是比记录信息时引入记忆装置的有序度的增加要大。霍金给出了下面的例子：如果你用心学习像这样一本书中的每一个单词，你就会记住大约200万位的信息。这是在你的脑海里增加了多少有序度的度量。然而，读这本书时，存储在食物中的至少有4.18千焦的有序的能量，转换成无序的热并散发至空气中。这使得宇宙中的熵增加了大约20亿亿亿个数据单位。这比你脑海中有序度的增加要高1000亿亿倍，这还是在你记住了这本书的所有内容的情况下……

因此，这意味着，记录信息只能增加宇宙的混乱度，尽管在宇宙的某个小角落里（比如存储器、算盘、计算机或人类大脑）产生了有序。记忆过去的时间方向，与宇宙中混乱增加的方向是一致的。计算机记忆过去的时间的方向，是与宇宙中混乱度增加的方向相同的。霍金写道：

> 计算机记忆过去的时间方向，与无序度增加的方向是一致的。我们对时间方向的主观感觉，即心理学时间箭头，在我们头脑中是由热力学时间箭头所决定的。正如一台计算机，我们必须在熵增加的顺序上记住事物。这几乎使得热力学第二定律成为无足轻重的东西。无序度随时间而增加，是因为我们是在无序度增加的方向上测量时间。拿这一点来打赌，准保你会赢！
>
> 《时间简史》

为使论据更具说服力，霍金描画了下面的幻想图画：

> 然而假设上帝决定，不管宇宙从什么状态开始，它都应该中止于高度有序的状态。在宇宙开始的时候，它可能处于无序的状态。这意味着可能随着时间的增加无序度在减小。你可能会看到打碎的杯子自己聚集起来并跳回到桌子上。假





如观察杯子的人都生活在无序度随时间而减小的宇宙中，我将推断这样的人可能会有一个倒溯的心理学时间箭头。也就是说，他们会记得将来的事件，而不是过去的事件。当杯子被打碎时，他们会记住它在桌子上时的情形，但当它在桌子上时，他们不会记得它在地面上的情形。

《时间简史》

在刘易斯·卡罗尔的作品《爱丽丝漫游镜中世界》中，白王后对爱丽丝说："只能记得过去的记忆，真是糟糕的记忆"。从上面的论断中可以得知，"较好"类型的记忆根本就不存在。

因此，热力学时间箭头和心理学时间箭头一定是一致的。

但是，为什么应该存在"热力学时间箭头"？换句话说，为什么宇宙在过去是有序的，将来会朝具有较大无序度的方向发展？如果宇宙在开始时处于完全混乱度的状态，也就是"热寂"状态，那么，除非受到随机波动的轻微干扰，宇宙就会永远继续处于毫无生气的状态。在这个无所不在的混沌中，将不会有"热力学时间箭头"。

我们的宇宙无疑不是处在这个状态。对于宇宙诞生时的有序度，我们能说些什么呢？这个奇异状态应该完全表现出物质和时空的量子特性，因此这个状态完全由量子特性所决定。那么，当宇宙诞生时，宇宙的量子状态是什么呢？

有许多具有不同观点的专家，假定这个状态一定处于最大可能的有序度。这个假定是由雅科夫·泽利多维奇和格里修克（L. Grishchuk）提出的，史蒂芬·霍金阐述了类似的假设，在我和科姆帕涅茨（D. Kompaneets）以及卢卡什（V. Lukash）合作的论文中，也给出了支持这个假设的论据。

霍金解决这个问题的方法是很有趣、很新颖的。为了描



述宇宙在其生命最初时的异常状态，即当量子效应对引力场本身很重要时，根据所谓的“虚时间”而不是通常的时间来重写这个理论的公式，这样做很方便。虚时间是由时间乘以负1的平方根得到的。在写含有虚时间的方程式时，时间与任何空间坐标的地位相当。现在这个时空的时间方向，与任何其他的空间方向有着相同的性质。让我们发挥一下我们的想象力，来绘制靠近奇点处的、也就是我们宇宙起源附近的四维时空中的虚时间的方向。这些方向看起来像是地球的子午线，会聚于南极。空间方向表现为平行的弧线。实际上，地球上的平行线是一维的，而宇宙中空间的方向是三维的。然而，就一个看起来很清楚的插图而言，这个差别现在对于我们而言一点也不重要了。

如果宇宙空间是闭合的，并且它是从奇点处膨胀而来，那么，我们的示意图（图13.1）以下面的方式说明了它。奇

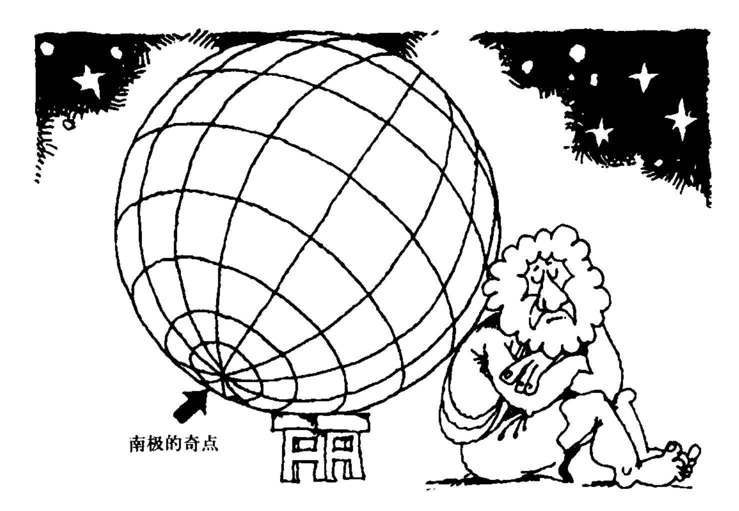
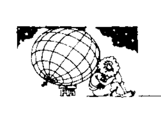



图 13.1





点对应于南极，圆形的平行线的长度显示了闭合宇宙的尺度。从南极沿子午线的距离，象征着自膨胀开始以来的虚时间。宇宙在南极（奇点）从零体积开始，然后持续增长——平行线的长度从南极开始增加，到达赤道（对应于最大的膨胀），接下来就是收缩阶段。现在，我们将注意力集中于南极附近的区域。

一般而言，在表面的这一点上，可能会有奇点，例如陡峭的山峰，但是表面可能是相当平滑的。史蒂芬·霍金假设我们的宇宙就像这样平滑。换言之，他假设南极——即用虚时间而画的宇宙的奇点——与其他相邻的点没有任何不同。

于是，宇宙的初始状态一定是最平滑的，也就是说，是有序的。尽管宇宙（平行线的周长）的空间维数为零，然而，这个点并不比其他的点——比如说我们地球的南极——更奇异。我们可以在想象中“通过”图中具有虚时间的奇点，这与跟通过其他的点是一样的，就好像我们可以走过地球的南极而不会感到任何异常一样。

现在我们来看看下面的特征。如果我们要去图上南极一边，我们可以很容易地认出南极（奇点）位于什么方向，它是“向南”的方向，即指向过去的方向，指向宇宙膨胀开始的方向。未来，也就是宇宙进一步膨胀，位于“向北”的方向。现在让我们走向正南极（奇点），除了子午线确实是从它开始的以外，这一点没有什么特别之处。我们不能从南极向南（向过去）移动：所有的路只通向北方（通向未来）。

图上奇点之前有什么的问题变得毫无意义了。的确，在这一点上不包含“之前”。这就像问在南极的南方有什么一样没有意义。这个例子证明了时间是有限的，它没有无穷远的过去，但是时间没有“开始”、没有“边界”。





让我们再次回到远离宇宙奇点、量子引力效应已不再重要时的时间箭头方向的问题上来。我们考虑的是真实的时间而不再是“虚时间”。

根据霍金和其他一些理论物理学家的假设，最初的奇点一定是平滑的。然而，这个初态不可能是完全有序的，否则，它将与量子力学的不确定关系（在“非常深度之旅”一章中接触过）相矛盾。所以，根据不确定关系，它一定与理想的有序至少有一点背离、有一些小的涨落。在宇宙演化的初始阶段，这个不均匀是很小的，但是数十亿年过去后，它形成了星系，并产生了宇宙的大尺度结构。一个近乎完美的有序发展成为越来越大的无序，出现了“热力学时间箭头”。

数十亿年后，一旦出现了智慧生命，正如我们所知，“心理学时间箭头”就与“热力学时间箭头”相一致了。

那么第三个时间箭头、即宇宙学时间箭头（它是由于宇宙维数的增加，而导致的宇宙膨胀的方向而引起的）又是怎样的呢？

在这个时期，宇宙学时间箭头与其他两个箭头的指向是一致的。不过，也有可能这种情况并不总是如此。如果宇宙中物质的密度超过了临界值，从膨胀到收缩的转折时刻就将会到来。宇宙学时间箭头于是就会反向，而其他两个时间箭头还是指向同一方向。三个箭头的一致性因此而终止。

起初，霍金假定当“宇宙学时间箭头”反向时，另两个也会反向，以保持三者的同一性。然而，他最终改变了自己的观点，他意识到无论是“热力学”还是“心理学”时间箭头都不会改变方向。

霍金问道：“当你发现你做错了时，你该怎么办呢？”他给出了清楚的答案：





有些人从不承认他们是错误的，而继续寻找新的、但往往是互不协调的论据为自己辩解——就像埃丁顿在反对黑洞理论时做的那样。另一些人首先宣称，从来没有真正支持过不正确的观点，即使他们支持了，也只是为了显示它是不协调的。在我看来，如果你在出版物中承认自己错了，那会好得多，并少造成一些混乱。爱因斯坦即是一个好榜样，他称在试图建立宇宙的静态模型时而引入的宇宙常数，是他一生中最大的错误。

还可以补充另一个例子。当爱因斯坦意识到他反对弗里德曼的理论是错误的时候，他立即发表了一篇论文，承认了自己的错误，称赞弗里德曼是正确的，而且弗里德曼的工作在科学上打开了新的视野。

发现错误也有另外一面。一旦你或其他的人挑出一些物理过程，并指出了其薄弱之处，这也是个创造性的工作，它说明了从前至少对你而言是不知道或不清楚的现象的一个方面。一个真正的科学家欢迎这样的结果而不会产生愤怒（尽管感受从来不会是绝对明确的或“纯粹的”，而且对新认识的满足可能与对自己的不满或者其他的感受交织在一起，但是，对于这类问题的反应，通常可以说明一个人对待事物的态度）。莫斯科物理学家维塔利·京茨堡描述了他是如何分析所谓的辐射跃迁中的过程，并得出结论说他已经发现了制造非常特殊粒子的计数器的可能性。他不久认识到了错误，他写道：“这个错误被证明是非常有趣的，澄清它几乎和‘发明’计数器本身有同样程度（虽然很节制）的乐趣”。

我也应该提到，由于某种原因，安德烈·萨哈罗夫对宇宙的时间箭头反向的思想颇为喜爱。他的思想和霍金的错误假想的本质上的区别在于，萨哈罗夫相信时间箭头在膨胀的



"零时刻"处"反向"，而不是在最大膨胀时反向（如霍金的假想）。这意味着在宇宙开始膨胀之前时间是倒流的，而且在时间倒流的时候，宇宙也在膨胀！萨哈罗夫第一次产生这个想法是在1966年，后来一次又一次地回到这个想法。说句实话，我理解不了萨哈罗夫为何如此钟情于这个假定。

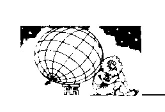
我们回到时间箭头的方向上来。问题是：假如在未来可能有某个时期时间箭头会偏离方向，为什么我们的存在，与所有的箭头都指向同一个方向的时期相一致呢？

答案也许依赖于所谓的人类原则，就是说宇宙中的智慧生命，不能出现于宇宙演化的任意阶段。它不能出现于很遥远的过去，那时还没有恒星和行星，温度也极高。似乎在遥远的未来也不可能出现我们熟悉的生命，那时恒星都燃烧殆尽，所有的物质都衰变了。收缩时期的宇宙，似乎不会与今天的宇宙相像。如果在那个时期还可能有任何形式的智慧生命（我相信如此），它们将进化得使我们完全无法辨认。注意，我们的文明是非常年轻的，而且我们所知的生命形式，只能在一个被类似于太阳的恒星照热的行星上进化。我们还应该考虑到，这样的恒星和行星只有在宇宙膨胀的时期才有可能存在，此时形成恒星的物质还储存有核能量。现在，答案已相当清楚了。

作为年轻的文明，我们只能存在于宇宙的膨胀时期，所有的三个时间箭头都有相同的方向。

我们来做个总结。

我们周围世界的时间方向，是与熵的增加、无序的增加有关的，打个比方说，是与成长和衰退有关的。如果我们目睹了一个系统的有序度增加了，我们应该认识到"奇迹没有发生"（科学积累的经验很好地教导了我们！），而且这个观




察现象指出，系统与其他物体发生了相互作用，并且这些物体全体的无序度必然要增加。正如奥维德（Ovid）在《变形》（*Metamorphoses*）中写的："时间，万物的破坏者"。我们的宇宙从过去向未来进化，是因为它生于高度有序的状态："过去和未来是如此显著地不同，是因为宇宙还很年轻"（F. Hund. *Time as Physical Concept*. 1972. 39-52）

但是对于单独的"基本"过程，例如依照牛顿定律的"质点"运动又如何呢？在它们上面是否没有指定时间方向？对此问题的答案似乎是：在这样的情形下，过去和未来不允许有明显的区别。在自然界中，能以什么精度实现这种理想条件，这种理想条件又是以什么精度实现的，这两者之间有很大的不同。

如果我们要求物质的基本粒子，进行"真正的基本"过程，我们就会遭遇真正的困境。

基本粒子遵从量子力学的定律，它与牛顿力学定律很不相同。对于这些定律，我们在前面的章节里只花费了一点时间，它也不是这一章的主题。这里只做几点评论，它们对于时间话题和时间流向而言是重要的。

量子理论拥有深奥的、完备的数学手段。这个理论的特别预言，被证明有着空前的准确性，这一理论被工程师采用，并形成了现代技术的一部分。然而，即使是物理学家也不能对这一数学工具以及它所描述的图像和过程做出大家都能接受的解释，甚至是否有人能够讲清这个领域的形象化的图像也未可知。

我将根据我的理解，对这一"图像"添加一些看起来似乎更为合理的概略描述。我向那些对这一方面有着浓厚兴趣的读者推荐罗杰·彭罗斯的书《皇帝的新思路》（*The*



*Emperor's New Mind*)（牛津大学出版社，1989）。

为更明确起见，我们只考虑一个例子：在对电子不透明的屏幕上，刻有两条垂直的狭长切口，电子在这两个切口中穿过。如果电子仅仅像一个很小的球，服从牛顿力学定律，那么，它就会要么从这个孔、要么从那个孔中穿过，但绝不会同时从两个孔中穿过。量子力学定律支配着电子行为，量子力学表明电子的运动与小球形物的运动大相径庭，它是两个切口都有可能穿越的令人莫名其妙的"混合物"。在我们设法使用某种仪器检测电子飞跃的细孔之前，电子事实上是从一个切口飞出来的东西与从另一个切口飞出来的东西的某种"混合物"。但是，这并不是一个简单的混合，比如说，50%来自一个切口、另外50%来自另一个切口；其比例是由复数决定的（不知道复数或不喜欢复数的人不必担心，我不会再提到它们了）。这是个非常奇怪的图象，我们能用适当的仪器、以某种方式使电子的奇怪的混合状态"形象化"吗？不，我们做不到。当我们试图确定电子从哪个切口运动的时候（期望"部分地"通过第一个切口、"部分地"通过第二个切口捕获它），在电子身上发生了"某些事情"，它以一个跳跃前进，并且全部从或者是第一个、或者是第二个切口穿过。物理学家称这个状态为"约化"。奇怪吗？是的，非常奇怪，然而这是事实。

在测量之前，电子处于"混合"状态的事实，能够以某种方式表现出来吗？是的，可以表现出来。如果我们在屏幕后面放置一块感光板，由它记录电子的到达位置，然后以足够长的时间间隔发射电子，经过长时间的曝光后，感光板上最终会出现由全部电子撞击点形成的著名的干涉条纹，就好像波射入了切口，而不是单个的粒子。我不打算介绍干涉条





纹更细致的细节，只是说干涉条纹是测量前电子的处于“混合状态”的结果。

要理解这一点困难吗？是的，很困难。我相信几乎没有任何专家敢说对每一个细节现在都清楚了。而且，不同的专家对观测现象有着不同的解释（这种情况已经持续了几乎四分之三个世纪！）。

给我们留下特别深刻印象的，是测量之前电子的“非定域”状态的本性。人们不能说（在测量之前！），在某一个特定的时刻，电子占据着空间的一个特定的点。这不仅仅是由于我们的无知：当然，在没有事先测量之前，我们不知道现在电子的位置。这个意义更为深远：电子在测量之前处于一种奇怪的混合状态，它并不占据空间的任何指定位置。此处我不会长篇大论去证明为何我们如此确信这一点，因为这可能导致我们离题太远。

我们观察一个包含两个或更多粒子的系统时，非定域性表现得更为明显。例如，首先让两个粒子相互作用，然后让它们飞散很远的距离。如果我们现在测量其中的一个粒子，这个动作就会影响另一个粒子的状态，而且就我们所见，这个影响会立即发生！既然这个效果一点也没有延迟，我们不能假定第一个粒子在经受测量时，向第二个粒子，比如说以光的速度发送信号。根本不会。第一个粒子状态的变化，确实会立即影响另一个粒子！变化是任意的（随机的）。因此，这不会是通过长距离传送信号（数据）的方法。最令人吃惊的事实是，所有这些效应，确实在实验室高精密的实验中观测到了。

然而，我们还是回到单个电子。只要不进行测量，电子的状态随时间的变化服从众所周知的量子力学定律。量子力



学定律和牛顿力学定律一样，也具有时间可逆性。在这里，没有受到偏爱的时间箭头的方向。然而，当测量时，状态被①随机地；②时间不可逆地（现在，这一点对我们而言是最重要的）约化了。于是，在量子力学中，时间箭头的两个方向就不等效了。

不过，一些物理学家认为，产生时间不可逆性的原因在于测量时采用的是“大的”工具，它包含了大量的原子和分子。这些物理学家主张：“在所有的可能性里，根源在于我们测量工具的‘宏观本性’。如果我们采用的是由巨大数量的粒子组成的测量工具，那么统计学的定律就会成为占主导地位的，就像在熵增加定律中发生的那样，它是大量粒子无秩序地相互作用的结果”。这些理由也许是对的，但最重要的因素似乎是约化过程的不可逆性。这个过程挑选出了时间箭头。这个过程为什么、又是怎样展现的？我们不知道。专家们的观点相距甚远，因此，我在此不去推测。甚至还存在一个观点，认为“光滑的”、连续的（尽管是弯曲的）四维时空的概念，虽然在我们研究“宏观的”过程中忠实地满足了我们的需要，但是，它不足以描述量子过程。

为了说明对测量时状态约化的神秘过程的不同观点，我在此引用两个主要的物理学家，史蒂芬·霍金和罗杰·彭罗斯，在他们所写的书《空间和时间的本性》（*The Nature of Space and Time*）（普林斯顿大学出版社，1996）中的片断：

彭罗斯：“这样衰变成一个或另一个对象，我称它为约化。”

霍金：“我完全不接受有一些物理过程对应于约化的想法……对我来说，它听起来像魔术而不是科学。”

本章罗列的论点，大部分是下列事项的“混合物”：已经



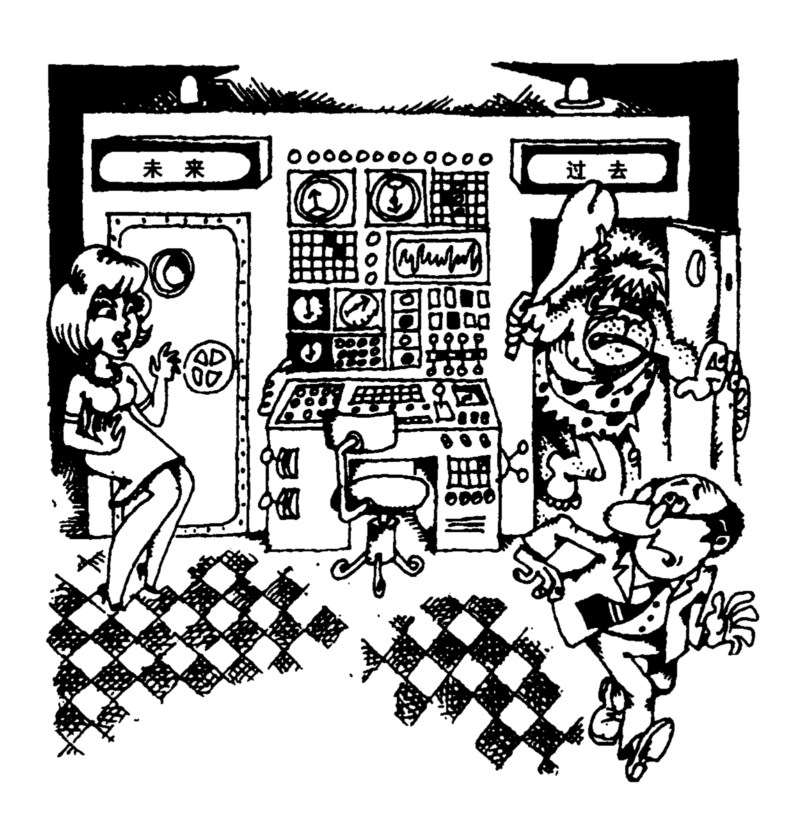


确凿的事实、需要经过仔细核实的假说以及模糊不清的猜测。

我要再次重申，我们仅仅是刚刚开始掀开罩在时间本性和其令人难以置信的特性上面的神秘面纱。

# 第十四章

# 逆向时间长流







爱因斯坦用最少数量的引力实验数据创建了广义相对论，他以其天才的直觉选择了这组数据。理论创建后的几十年里，凡是可以用观察或实验验证的预言，总是被证明是正确的。

由这个理论预言的太阳系行星运动的微小修正，被检测到并仔细地测量了。1919年，阿瑟·埃丁顿发现了光线在太阳引力场处的弯曲，这和爱因斯坦的预言相一致。

然后，发现了在强引力场处出现光线变红，这又一次与爱因斯坦的预言相一致。

最后是黑洞，即那些与自然中其他东西都不像的奇异物体，在20世纪70年代被发现了——可以有很大的把握这么说。在这种情况下，相对论理论不仅在对一些著名过程的微小修正中表现出来，而且在彻底改变了空间几何特性和时间特性的显著效应中显示出来。

在这些年里，没有发现一例会对相对论理论产生怀疑的事实。联系起来看，20世纪的科学经验使得人们认真对待这个理论的其他预言，那些未经试验证实或天体物理观察的预言。

我们已经看到，描述物质最深奥结构的现代物理学，正朝爱因斯坦描绘的方向发展。人们已经发现，所有的物理过程有着相同的（统一的）本性。自然物质的特性，很有可能



建立在复杂的时空特征之上。

在本章，我们将谈谈相对论预言的新的可能性。这些可能性是非常稀奇古怪的，但还是让我们面对它吧：现代科学将科学幻想与现实之间的距离缩小到几乎为零！读者也许会不以为然地耸耸肩："你将要描绘的不会超过理论物理学家们在纸上写的几行公式。这与现实的结果还有几光年的距离呢。"

这里读者肯定是相当正确的，从理论到现实无疑还有很长的路。路德维希·波尔茨曼有一次评论道："我的一个朋友将实践者定义为没有理论知识的人，而理论物理学家是根本什么都不懂的空想家。"

然而，我想要提醒读者注意的是，像核能和空间飞行可能性这样奇特的、大胆的发现，已经成为20世纪中每天的实践。我们已经略微谈到了对相对论预言的证实。让我们记住这句好的格言吧：好理论，最实用。

这就是为什么我要谈论物理学最大胆的设想，谈论它们最富有挑战性思想的原因。著名的英国物理学家汤姆孙（J. J. Thomson）发现了电子，他曾经说过，在所有可纳入科学的因素中，最重要的是新的思想的注入。

实际上，我将要讨论的是回到过去的可能性。

1988年夏天，基普·索恩给我寄来了他和他年轻的学生莫里斯（M. Morris）、尤尔特塞韦尔（U. Yurtsever）交给《物理评论快报》（*Physical Review Letters*）的一篇论文。这篇论文提出了赞同这个论据，即从将来回到过去是原则上行得通的。这真是很大胆的论文。

返回到过去是不允许的，这个观念已嵌入到科学和哲学思想很长时间了。读者们记得向未来的旅行是个已被证明的





事实。我们在“时间机器”一章中讨论了一个装置的例子，它能够向遥远的未来旅行。这就是能在宇宙空间中以足够高的速度运动的火箭。飞行之后返回到地球，宇航员发现他处于行星的将来的时间里。

对于地球人而言，向未来的旅行是个很不寻常的事情，这是毋庸置疑的。例如，如果宇航员在火箭中度过了30年，而地球过去了150年，那么，他比他的曾孙子女还要年轻。不过，这不会产生引人注目的矛盾。无论是宇航员还是地球，都像往常一样在熟悉的环境里从时间上的过去向未来运动，但是宇航员比地球上的居民的时间运动要慢得多。

回到过去的旅行就非常不同了。如果这是可能的，我们似乎就可以影响发生在很久以前的事件。这自然意味着我们可以改变现在，因为现在依赖于我们试图改变的过去的事件。这样的故事在科幻出版物中比比皆是，但是直到最近物理学家们才有兴趣对这个事情进行严肃认真的讨论。

1988年秋季，上面所提及的论文在《物理评论快报》上发表后，《纽约时报》评论道，即使完成了回到过去的可能性的理论证明，其本身也会遇到哲学和科学难题。旅行者在理论上可以改变过去的事件在时间上发生的顺序，这不排除他本人的出生，因此，科学赖以生存的因果律就会陷入混乱。

报纸接着评论说，这篇引起轰动的论文作者拒绝做这类假设，他们声称他们是在理论物理上、而不是在哲学上进行研究。

最后的评论是相当合理的：人们只有首先确认制造回到过去的机器的理论上的可能性，之后才能考察其可能的结果。

对这三个美国物理学家所做的工作，苏联的媒体，包括报纸和电视都轻描淡写地一笔带过。





我们将回到时间机器，它的原型在赫伯特·威尔斯的同名短篇小说中描写过。这是威尔斯的第一篇科幻小说，出版于 1895 年，并使他立即声名鹊起。

在这部小说里，穿越时间的运动过程被解释为有点像观看快速放映的电影。在时间中的旅行者并没有运动，而是固定在时间机器的扶手椅上，跟随着连续不断事件的快速闪烁的“画面”，在向前的旅行中从过去走向未来，或者以相反的时间方向向后旅行。威尔斯对进入未来和返回过去的“飞行”做了美妙的描述。顺便提一句，当他写这篇短篇小说的时候，电影摄影才刚刚开始迈出第一步。

在威尔斯年轻的时候，他对科学显示出了浓厚的兴趣，这对他的早期写作和以后的所有工作，都产生了影响。

小说主人公为他的朋友们提供的对穿越时间运动的解释，给我留下了深刻印象，不逊于在时间中的“飞行”给我留下的印象。他以带有明显的时间旅行者的口吻开始评论道：“任何真实的物体一定有四个方向：它一定有长度、宽度、厚度和持续时间”，而且至少存在一段时间间隔。他的结论是，这个间隔就是第四个维数。他说，“确实有四维，其中三个我们称为空间的三个平面，第四个是时间。然而，有一种想描绘出前三个维数和后者之间刻意差别的倾向，这是因为我们的意识在沿着后者的一个方向间歇地运动……”

别忘了这些话大约是在创建相对论之前10年写的。威尔斯的主人公然后讲道，对三维空间的照片，有助于对第四维数的研究。“例如，这是一个人在 8 岁时的照片，这是 17 岁时的照片，这是 23 岁时的照片，等等。所有这些很明显都是一些断面，实际上，三维代表着其四维在一个固定时刻、不可变更的东西。”





我们发现历史即是以上述所描绘的方式呈现在我们的面前，就好像它的全体完整地记录在磁带上，正如拉普拉斯解释的那样。我们可以沿着磁带前进或者倒退。小说的主角说，重要的是学会在时间中向前或者向后滑动，就如同我们在空间中那样容易。他指出，我们不能在空间的所有方向上同样容易地运动。例如，不久前人还不能离开地球的表面很远。此外，由于重力的影响，向下运动比向上运动要容易得多。不过，在时间中的旅行者辩解说，一个人可以使用气球反抗重力，使他远离地面。那么，为什么不期望穿越时间的运动最终会停止或者加速，甚至它的方向也可能反过来？

毋庸置疑，威尔斯的小说是一个幻想的作品，它专注于未来的社会问题，而且在某种程度上提出了警告：如果人类被划分为互相敌对的阶级，人类文明将怎样经受退化。尽管如此，他是一个伟大的作家，能对科学的细节、原理和定律做意义深远的分析。这就是为什么他能写出令人印象深刻的描述穿越时间的梦想的缘故。

让我们从这些梦想中回到20世纪下半叶的科学上来。从科学的观点出发，对于“飞回”过去的可能性，我们能说些什么呢？

要说的第一点是，把在时间中向后滑动描绘成像反向放映电影一样，这一点无疑是错误的。我们也会看到，为了在时间中运动，也有必要在空间中运动（这一点我们在前面提到过了）。还要注意的是，我们自己不能在任何“飞行”旅程中变得更年轻一些。在我们每一个人身上，在任何人类、任何系统中，时间只能向前流逝，只能从年轻到年老。正如刘易斯·卡罗尔的《爱丽丝漫游镜中世界》中的爱丽丝对汉普提·邓普提说的“一个人无法不变老”。我们知道无序度增加、



熵增加的定律，支配着生物体的老化（在这里我要做个限定，我们可以设想一个纯粹是幻想的情景，在活细胞的水平上采用某些方法可以阻止变老甚至返老还童，但这是在生物体上控制生长过程的另一码事，而不是时间流）。就我们所知，“心理学时间箭头”的方向与“热力学时间箭头”的方向是一致的。然而，有可能设想使用特殊设计的机器，人们可以进入特殊的“隧道”，在这个“隧道”中，他可以在外部空间中相对于时间做向后的运动，并能在经过隧道的其他出入口时，出现在过去。很明显，穿越时间的旅行者根本就没有变得更年轻。然而，由于潜入了过去，他可以发现自己正处于——比如说年轻的时候，甚至处于他出生之前的时期!

在某种程度上，这个旅行就像是从波涛汹涌的河中分出一小部分水流，将这个小溪的水抽入水管内，通过水管沿着河岸逆流而上，在很远的上游将水送回到大河中。

现在，宇宙学正在考虑将与此画面相类似的内容，作为时间长河理论上的一种可能性。我希望我在这几页上的宣传，不会惹怒我的物理学家同行——也许在读者中就能找到；因此，我必须立即让每一个人都知道，我的一些同事坚定地认为，任何回到过去的旅行，毫无疑问是不允许的。不过，我们以后再谈谈这些不同意见。

纯理论家——数学家而不是物理学家，已经花费了相当多的时间研究这个允许时光倒流的奇异的幻想世界。这些世界是由求解广义相对论方程组而产生的。一般的观点似乎认为，尽管对研究理论结构本身有着重要的意义，这些解与现实无论如何也没有联系。每一个熟悉算术的人都知道，正确理论的公式可能给出不正确的——“没有物理意义的”——结果。向一个问题的已知条件内加入不适当的数，就足以使





算术产生不可接受的结果。例如，需要4天之内在地上挖出容积为30立方米的洞，每人每天可挖3立方米，这样你需要……2.5个挖洞人。类似这样的结果使许多学生叫苦不迭。咳，许多物理学家把具有时间奇异特性的世界看做是这样"不合情理的"结果。

然而，尽管理论家们认识到结果与现实不相关，他们还是仔细地研究了这些方程的不寻常的解。理论可以用魔法召唤具有"时间环"的世界，在那里人们可以潜回到他的过去，这不是确实很奇怪吗？

这类问题的首批解决方案之一，是由库尔特·哥德尔（Kurt Gödel）在1949年得到的。他考虑的是静态的、时间不变的世界。仅是这个原因，这个模型就不能描述真实性，因为观测表明，所有的星系都向外飞去。哥德尔的世界充满了具有相当奇怪特性的物质，其中最重要的一个是它的旋转。在这个世界中，物质的所有粒子间的距离，都保持为常数。如果我们在每个粒子上都固定了相同的时钟，我们就能同时"启动"它们来测量时间间隔：对这个物质和这些时钟而言，"同时性"的概念是不存在的。

总的来说，这个幻想的世界画面是相当奇异的。有人说这个世界含有"时间环"，从这个世界上的任何一点，人们都可以选择这样的路径，即以一定的速度只能向前运动，人们绕世界一圈后，恰好在旅行开始的时刻又回到了旅行的起始点！换句话说，旅行者不仅是在空间上、也是在时间上绕世界转了一圈。

所有这一切看起来很滑稽。对理论学家而言，这个方案是真正的数学玩具。仅仅也就是个玩具吧。人们可能把哥德尔的方案中的"时间环"看做是好笑的新奇事物，就好像上




面提到的数学问题中的两个半挖洞人一样。事实上，并不是所有的人都把哥德尔的结果看作不够分量的数学游戏。爱因斯坦在1949年写道：

“在我看来，库尔特·哥德尔的文章对广义相对论做出了重要的贡献，特别是对时间概念的分析。这里涉及的问题，在我建立广义相对论时就已经困扰了我，我没有成功地澄清它。”

——“对批评的回答”（‘Reply to Criticisms’，in: *Albert Einstein*, vol. 7 of the Library of Living Philosophers, 687–688）

当我还是学生的时候，我的注意力被阿布拉姆·泽尔曼诺夫吸引到哥德尔的解上了。他本人也把这个解作为证明严肃定理时有用的数学例子。至于我，我只是欣赏对这个世界中曲线的奇异特性进行的良好的、易懂的、有趣的分析。

理论物理学家们也欣赏其他包含“时间环”的模型。泽利多维奇和我本人，在一本绝对严肃的（超过700页篇幅的）专著《宇宙的结构与演化》中分析了其中的一个。这个模型很富有启发性，值得在此做简要的介绍，我希望它有助于读者弄清楚“时间环”的含义。

在这本书中，我们已经见到了时空图：空间方向沿着水平轴，时间沿着垂直轴。现在，我们再这样做一次。拿着一张纸（上面有图14.1a），将它像图14.1b那样弯曲，将图的顶部与底部粘连。这样形成了一个圆柱（图14.1c），形成圆柱的圆圈是“时间环”。在圆柱的表面上沿着圆圈随时间滑动，我们回到了位于过去的初始时刻。事实上，不必恰好回到初始的事件，当时间前进时，在空间中向右运动就足够了。这样的旅行者的生命足迹就是螺旋线（图14.1d），“在时间





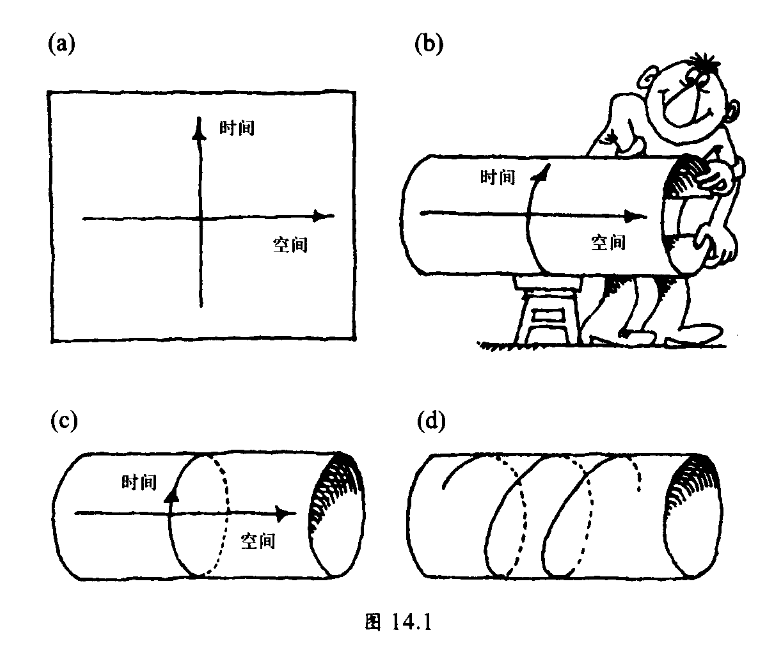
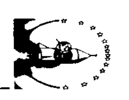



图 14.1

上”可以变得越来越长；前面的图（图 14.1c）给出了封闭的“时间环”，在它上面的演化的时间长度是有限的。

在我们的那本出版于1975年的书中，我们讨论了在一个以这种方式封闭时间的世界中物理过程的命运。我们的重点是，尽管在这个世界、这个模型中的过程，其特性是不寻常的而且相当“奇怪的”，但是，在其上构建不至于导致矛盾的物理学，还是有可能的。

虽然这只不过是对“时间环”的评论，但是我和泽利多维奇以一种非常不同的方式对待它们。我很认真地相信，在现实世界中建立时间环的可能性，是值得研究的。泽利多维奇从一开始就不喜欢这些。后来，我们的书翻译成了英文并



在美国出版。我最近仔细地重读了英文版的相关内容，使我感到沮丧的是，我发现有关“时间环”模型的描述被这本书遗漏了！泽利多维奇不幸于几年前去世了，我无法询问他，在翻译的过程中发生了什么。我猜测，他简单地删掉了那些一定使他感到厌恶的段落。

幸运的是，在我的另一本以英文出版的书中，有一段谈到了“时间环”。

但是，我应该提一下，我未能十分认真地对待“时间环”的问题，而这无疑值得认真对待。部分原因是由于泽利多维奇的怀疑，以及他的个性对我的巨大影响。在我们写书之前，我的确考虑过“时间环”，甚至试图计算某些效能，但没有坚持下来。只是在读了基普·索恩和他的学生的论文后，我变得兴奋起来，希望至少朝这个妄想的目标靠进一步：学习“飞”入过去；所以，我对此开始了艰苦的工作。那么，美国物理学家们的提议的要旨是什么呢？

我可以将他们的工作分为两个阶段。第一个阶段是对这个可能性的分析，即创建一类连接两个出入口、像在“空间和时间中的洞”一章中描述的峡谷一样的“隧道”。不过，这个隧道必须是稳定的，以便允许通道穿行。换言之，这一部分工作证明可以使“隧道”稳定，以抵抗由于引力和惯性力引起的“坍陷”。

第二个阶段是证明，这样的具有两个出入口的“隧道”，如何能转变成为时间机器。

基普·索恩回忆道，当他翻阅了卡尔·萨根(Carl Sagan)的小说《接触》(*Contact*)后，前一个问题（怎样稳定“隧道”）吸引了他的注意力。萨根是一个著名的天文学家，也是个名声不小的作家。他请求索恩审读他的一本新科幻小说中

的一些段落，在那里，萨根决定利用黑洞进行瞬时运输，将小说的主角送到遥远的星系。萨根希望小说中尽可能少地与物理学相矛盾。索恩在回家路上的汽车里浏览了小说，确信黑洞不适合于做星际旅行：它们没有出口。不过，如果黑洞和隧道都是稳定的并转化为静态结构、而且两个方向都可通行的话，看来使用“隧道”连接两个黑洞是可能的。索恩所做的一些数学计算显示，为了使隧道稳定，其间必须充满不寻常的物质，或者具有与类真空状态（在本书的前面提到过）相似性质的物理场。

于是，他建议萨根改正小说中的某些部分，萨根在读校样时这么做了。

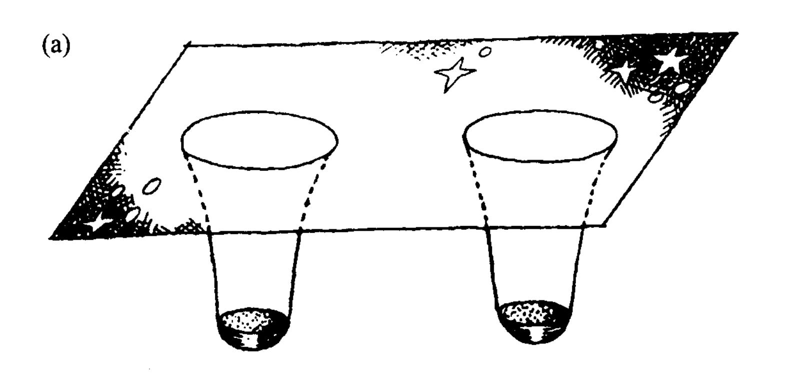
索恩没有放弃这个想法，与他的学生莫里斯一起开始了工作，论文的重点是使用稳定的“隧道”（假想的）进行快速的星际旅行，在1987年初完成了初稿。

后来，与尤尔特塞韦尔一起，他们描述了“隧道”的一个更为特殊的设备。我们来看一下，为使引力不引起“隧道”的坍陷需要些什么。

作者提出了下面的系统。开始，在空间上两个相距不是很远的区域通过压缩物质产生巨大的引力场，在这两个区域上引起了强烈的弯曲（见图14.2a）。然后连接两个区域形成“隧道”（我记得，另一个名字是由约翰·惠勒发明的，叫“虫洞”）（图14.2b）。以这种方式建造并连接两个出入口的隧道，与图7.2a显示的类似。不同之处在于，美国科学家建议，在建造的同时稳定隧道。正如上面指出的，这是通过往隧道中填充类似于类真空状态（见“源”一章开头的例子）的物质而实现的。这个物质的反引力特性阻止了隧道的坍陷。

很明显，物理学家们目前还没有这样的物质，由于它的





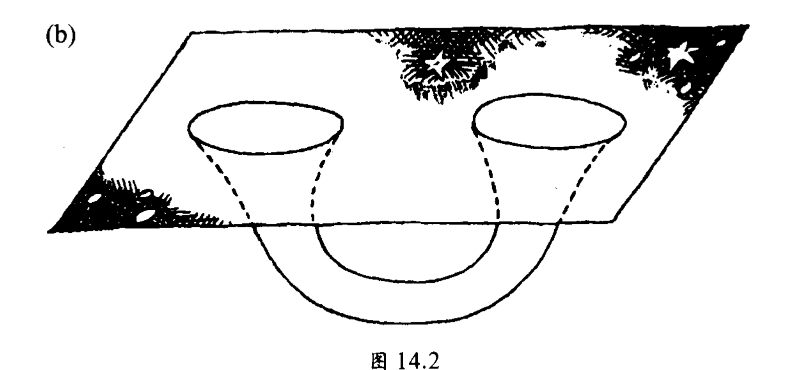




图 14.2

一系列特性，我们甚至根本就不知道将来是否可能有这样的物质。另一方面，我们也不知道是否有物理定律禁止将来高度发达的文明制造这样的物质。目前情况下，怎样构建这个物质的“细节”尚不清楚，也没有特别地“禁止”生产这个物质。

莫里斯、索恩和尤尔特塞韦尔在1988年发表的一篇论文中，提出了另一个同样奇异的可能性。正如你在本书前面部分读到的，很小尺度下的真空是“沸腾的量子泡沫”，虫洞和




其他东西在其中不断地产生和消亡。作者写道:“人们可以设想，高级文明可以将这样的虫洞从量子泡沫中拉出来，把它放大至传统的尺度”。

因此，可以设想将来某一天能够建造这个叫做“虫洞”的奇异隧道。于是，人们将可以在由虫洞连接的出入口处进行下述操作。可以将出入口彼此拉开很远的距离，而不改变它们之间的“虫洞”的长度。初看起来，这是相当不可能的。似乎确实如此，但是只是乍一看不可能。

为使这点更清楚，先不管空间而是想象一张没有任何出入口或“隧道”的平坦的纸张；再想象有可以在二维空间中平坦的星星之间运动的平面生物，并且可以进行几何测量。如果我们现在像图 14.3a 那样平滑地弯曲纸张，没有折叠或撕破，那么，在纸张上什么也不会发生变化。所有的几何关系还将保持不变；任意两点之间的距离，在纸张上沿着最短的路线测量，也不会改变。这就是说纸张的内在几何学将保持不变。因而，平面生物就无法知道纸张是否在外空间中弯曲了。两种情况下，纸张上的所有“场景”都是相同的。现在，想象在纸上有两个孔(出入口)，两孔之间由短的“虫洞”连接(图 14.3b)。现在我们看到，在外太空中从一个口到另一个口的路径是长的，而通过“隧道”的路径可以很短。

然而，这还不是全部。如果我们拉动纸张的上边缘，保持下边缘和两个口的位置不变，纸张的上半部分将相对于图 14.3c 中的B 口而滑动。运动是相对的，我们可以假定上面的口在星际间移动。于是，两个口之间的距离在外空间中是变化的——增加或减少，与此同时，“虫洞”的长度仍将保持不变。

我所说的一切有关二维模型表面上的口和“隧道”，对三



维空间的口和“隧道”同样有效。但是，想象在弯曲的三维空间中的这种情况要困难得多。从外面看出入口A和B很像黑洞，重要的区别在于，进入和离开出入口都是可以的。从内部看，它们由隧道相连，与黑洞有很大的不同。从A到B的运动和从B到A的运动都是允许的。可以选择出入口的参数和虫洞的参数，使得作用在穿越“虫洞”的生物体上的引力不会太大，甚至是相当合意的。

现在已经知道，在将来建造了连接A和B两个口的静态“虫洞”后，如何利用这个装置。首先我们需要将其中一个洞口拖向遥远的星系，而不拉长隧道的长度，或者被拉长的长度与在外太空中两个口的距离（这个距离可以认为有许多光年！）相比，小得可以忽略不计（比如说只有几米）。我需要提醒读者，我们已经在“从黑洞中获得能量”一章中，讨论了怎样通过空间运送黑洞。

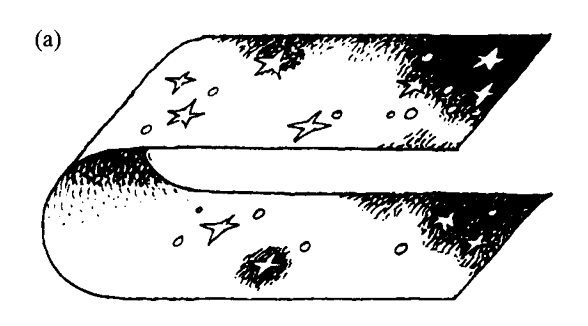
既然我们讨论的出入口，从外部看起来与黑洞实际上几乎没有区别，那么，我们可以采用同样的方式处理它们。

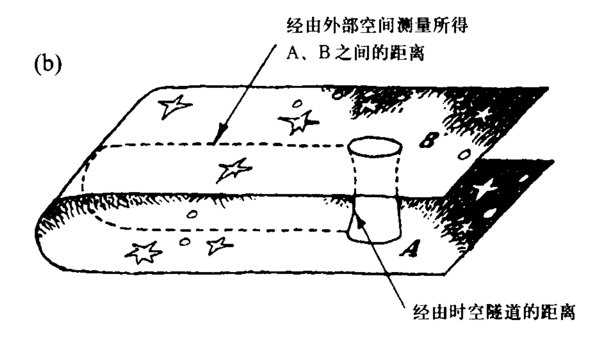
现在，这个装置可以作为空间机器来使用（到目前为止还不是时间机器）。实际上，一个旅行者，从图14.3上的A口进入，经过短的隧道后，从遥远的星系中的B口出现，这个旅行可能根本不会持续很多时间。到达别的星系将不需要很长的时间，也不需要在星际之间飞行。

尽管这个空间机器看起来是壮丽的和吸引人的，我还是希望读者原谅我描述了它的内部结构的微妙之处。读这些段落需要集中一定的精力，付出了努力会得到回报的。

我们现在转向最迷人的部分。我们试着重新设计出入口和“虫洞”系统，使它成为时间机器。

我希望在本章开始时的讨论使我们清楚了，旅行回到过



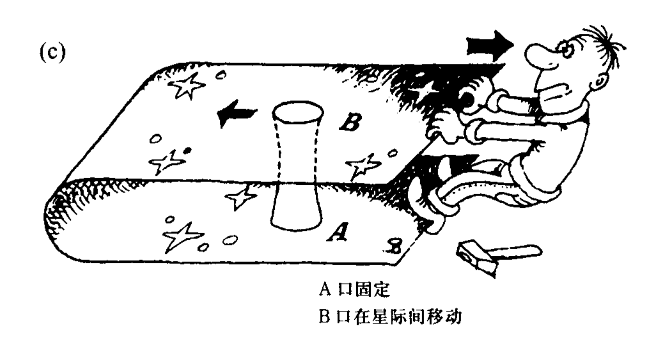




图 14.3



去需要“时间环”。早先提到的数学模型，都需要有“时间环”，但是模型本身与现实之间没有联系。

我们现在将要看到，根据计算，一个包含稳定的短“虫洞”的系统，在实际的宇宙中是怎样产生“时间环”的。这甚至可能在我们地球的附近就可以完成。

这一类方案的第一个线索，可以在索恩和莫里斯的1987年的论文中找到。他们与尤尔特塞韦尔合作的下一篇论文，相当详细并且改进了方案。读了他们的论文后，我提出了自己的时间机器，也是在1988年秋季发表的。1990年，我与同事兼朋友瓦列里·弗罗洛夫一起提出了新的时间机器，这就是此处我将要介绍的。

为了理解时间机器是如何工作的，再一次提请读者集中相当大的注意力。这是没办法的事情：我们谈的是时间机器，而不是其他。爱因斯坦习惯于说，一切事情都必须尽可能地简单——但以后的内容就不是这样了。不关心探究细节的读者，可以跳过以后几页，直接去看结果。

因此，想象两个相距很远、由短虫洞连接的出入口A和B，在A口和B口附近放置两个同样的时钟。由于靠近出入口处引力场的缘故，相对于远离出入口处的时钟而言，这两个时钟都放慢了下来。重要的一点是，鉴于这种情况的对称性，两个时钟被减慢的程度是相同的，但这对以后的讨论不重要，我们可以暂时“忘掉”它。注意，如果我们将时钟放置在离口稍远一些的距离，变慢就几乎可以忽略不计，这样，时钟走动就同步了。

现在，我们将装置放置在强引力场中，比如说中子星的表面，以这种方式放置：B口放在表面，A口放在外面的远处，比如说在几千米的高度。

时钟现在走得不一样了：接近引力源的B时钟，比A时钟走得慢。很重要的一点需要提请注意的是：减慢的程度与两个钟之间的距离成正比。至此，一切似乎都很清楚：这些情况与“时间、空间和引力”一章开头的说明相类似。

现在到了至关重要的时刻了。让我们以从A时钟到B时钟的方向透视隧道，再一次试着比较A和B时钟的读数。读者也许会问:“这么做是为了什么？我们不是已经比较了它们的走时速度，并发现B时钟走得慢吗？”但是别忘了，我们称爱因斯坦的理论为相对论，正是因为它建立在时间相对性之上。时间前进的速度依赖于其处境，而我们现在考虑的是很特殊的情况。我们观察的是短的（几米长）“虫洞”，它连接的是空间相距很远的两个地方。我们看到了什么？就我们所知，时钟B相对于时钟A减慢的程度，与它们之间的距离成正比。但是，它们之间的距离，通过虫洞是小得可以忽略！因此，时钟实际上是紧挨着的，所以，从虫洞中的观测者或旅行者的角度看，时钟B相对于时钟A的减慢也是极小的。

那么，这意味着什么呢？当我们从外面看它们时，时钟B比时钟A要慢得多；当我们从虫洞内部看时，它们的走时速度又是一样的。那么，这两个判断哪个是正确的？读者肯定准备了一个答案：两个判断都是正确的。的确，这是相对论的一种情况，没有“时间的绝对速率”。一切都依赖于具体环境。因此，两个结论都是正确的。

这样，我们将虫洞放置在靠近中子星的位置，现在等候足够长的时间，使得两个时钟A和B的走时差别积累得足够大（对外部观测者）。假定差别增大到了2个小时（原则上，可以任意大）。

我再次强调：如果我们通过虫洞（从任何一端）观察时



钟，我们总是发现它们的时间是一样的，但是，如果我们是在外部空间，时钟 B 总是慢于时钟 A。现在，我们将两个口（包括时钟一起）从中子星和其引力场处拖开，并“停放”在宇宙的某个空的地点。为方便起见，我们可以将两个口在外空间中移近，比如说相距 100 米。我们不妨假定口的直径是几米，虫洞的长度始终保持相同。

现在，在远离外部引力场的地方看，时钟还是走得一样快，但是时钟 B 的时间比时钟 A 的时间慢 2 个小时，因为时钟 B 靠近中子星的表面，它的走时减慢了。例如，当处于外部空间、靠近虫洞的观察者看到时钟 A 指示为 5 点时，与此同时，他读到时钟 B 的时间是 3 点。

至此，还没有特别令人吃惊的。可是，我将马上证明，我们的虫洞可以当作时间机器。

在 B 口的观察者通过虫洞察看时钟 A。他看到了两只时钟：很近的 B 时钟和位于 A 口的很远的 A 时钟。我们知道，在 B 口通过虫洞观看，两个时钟显示的时间都和 B 时钟一样，也就是 3 点。现在，观察者从外部空间（不是通过虫洞）看时钟 A，他立即发现时钟 A 显示的是 5 点。所以，当他通过虫洞观看时，他看到了时钟 A 及其周围世界的过去！观察者可以穿越通道行走，发现自己处于比 B 口周围的世界年轻 2 个小时（在我们这个例子中）的过去。

时间机器就是这样工作的。

要想旅行回到比 2 小时更远的过去，人们不得不使用更“强大的”时间机器，或者从 B 到 A 穿行虫洞两次、三次或更多次。但是，这个机器只允许旅行者访问时间机器存在后的过去，比方说，如果这个时间机器的确在某一天建造了，它将不可能回到石器时代，因为毫无疑问，那个时候它还不




存在。

如果观察者从A到B穿越虫洞，他发现自己处在超过现在2个小时的将来。

这就是当今的物理学提供的时间机器的一个版本。不过，应该做一个重要的限制。上面描述的时间机器的几何尺度，不太可能适合于人类的实际旅行。此处的空间(包括时间！)曲率是如此之大，引力的巨大落差会把娇弱的人体撕成碎片。

为了人类的实际旅行，时间机器也许必须要大得多。不过，我不想详述这一点，因为我们讨论的是原理，而不是设计的细节。

即使时间机器是可能的，它也是高度发达的文明要做的工作，我希望，人类进化到这个高度发达的文明。

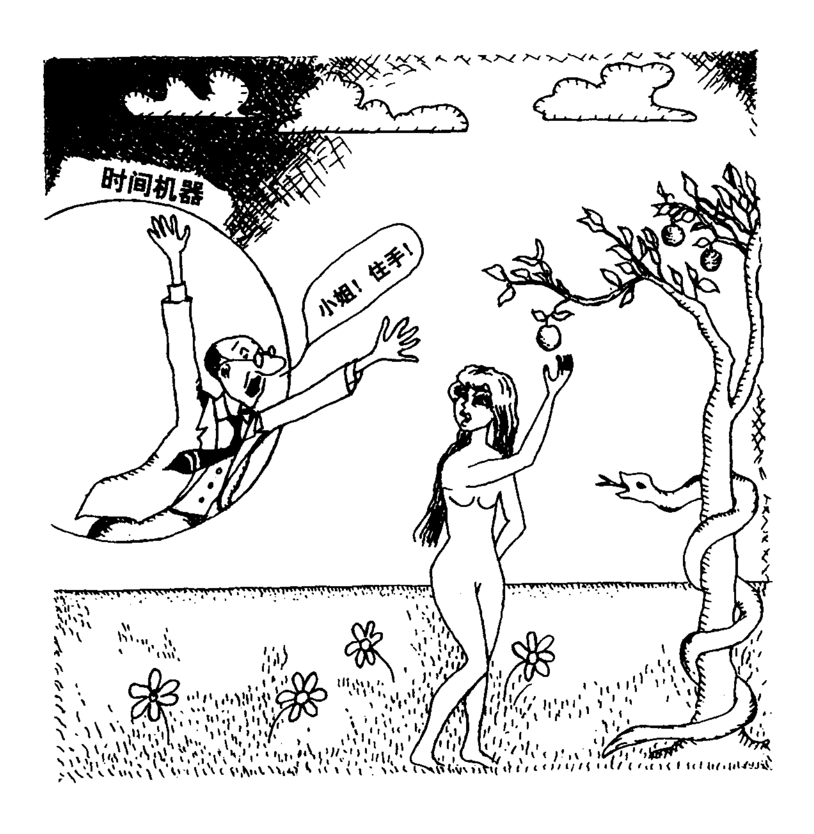
还有我不想回避的另一点。从最先讨论时间机器起，一些科学家就举手反对，其中有一些非常著名的人物。为什么？从观察和讨论中我所能得出的结论是，旅行回到过去就会意味着有改变过去的可能性，而这推翻了科学的根本基础：因果关系原则。我不同意这一点，我会在下一章讨论。

对于许多物理学家，最初的情感反应被后来的严肃分析代替了。初步的计算显示，在真空中的巨大量子效应是可能的，这些会破坏时间机器。我不认为这些计算证明了什么，因为我们没有关于这些过程的一致的理论，甚至不能预言何时能发生。未来会证明争论的双方谁是正确的。

尽管有不同意见，我认为双方都赞同这一点：分析哪些过程和事件是切实可行的，以及将来有朝一日创造了时间机器后，物理学将扮演何种角色，无疑对我们理解时间是什么是极为重要的。

# 第十五章

# 我们能改变过去吗?







“我一点也没有骗你，菲尔，”巴尼坚持道，“我已经制造出了可工作的时间机器，我将使用它返回过去并杀掉我的祖父。”

“为祖父准备的枪”

(‘A Gun for Grandfather’ by F. M. Busby in *Getting Home*, 1987)

我在保罗·那辛（Paul Nahin）出版于1993年、并友情寄送给我的书《时间机器》(*Time Machine*)的引语中发现了这段话。这本书中另一段以其精确的分析而给我留下深刻印象的话是:

时间旅行是如此之危险，以至于氢弹也成了孩子们和低能儿的相当安全的礼物了。我的意思是，对于核武器而言，能发生的最坏的情况是什么？几百万人口的死亡——微不足道。而有了时间旅行，我们可以毁坏整个宇宙，根据这个理论大抵如此。

《千禧年》(*Millennium*)

瓦利（Varley），1983

的确，如果有机会回访过去，似乎通过更改过去，我们能够改变一些个人的命运、人类的命运、甚至整个宇宙的演化。这是真的吗？





争论这一类问题时特别流行的论据是所谓的“祖父佯谬”。它大抵如此:“如果我能回到我祖父还很年轻时的过去,我就能杀死他,因而我就不可能出生了”。或者相同佯谬的另一种说法:“我返回到我自己的过去,碰到年轻时的我并杀死了年轻时的自己”。

在两种情况下,奇异的杀人者都产生了完全无意义的结果。我们是否应该推断这样的事件是不可能的?但是为什么呢?我有着自己的“自由意愿”,不是吗?因此原则上讲,我能够实现这个“自由意愿”。

科幻作家们已经仔细查看了这个情景的各种版本。那些喜欢文学幻想(有时相当吸引人)的读者,可以参考上面提到的保罗·那辛写的书,它提供了大量的参考资料。但是这里我们要回到物理上来。

“祖父佯谬”或者其他类似的佯谬,证明了穿越时间的旅行是不允许的吗?的确,我们回到时间上的过去,并消除目前已经发生了的现象的原因,我们因此而违反了科学的基本原则——因果关系!这种说法似乎是合理的。

但这是真的吗?我对此表示怀疑,怀疑上面给出的论据是有缺陷的。有关在过去遇见自己(或祖父)的可能结果,物理学是怎么说的?

很明显,物理学家(至少我们当代的物理学家)没有办法对人类的行为进行准确的推算,这是心理学和社会学的领域,而不是物理学的领域。但是,对于一个物理对象穿越时间机器后会发生什么,物理学家能够给出严格的计算。我们就利用这样简单的对象来模拟祖父佯谬,看看它是如何解决的。

在开始令人兴奋的旅行之前,我希望将读者的注意力吸





引到此处出现的一个全新的因素。如果“时间环”存在，环中的事件不能分离为未来和过去。为了解释这一声明，我们考虑下面的例子。

设想我在一个长长的队伍中，队伍沿着直线前进。毫无疑问我能说出他们中的谁在我的前面、谁在我的后面。然而，如果我们排成圆圈走，只有对那些最靠近我的人我才能说谁“在我前面”或者“在我后面”，而对整个队伍的人就不能这么说了。至于那些离我更远的人，我都能走过整个圆圈并最终从后面到达我本人所处的位置。这就是为什么不能将沿圆圈运动的人，划分为“走在前面”和“走在后面”的缘故。

对于“时间环”而言也是如此。我们可以说最近的哪些事件属于未来、哪些事件属于过去，但是这个分类不能应用到整个时间环中去。这个环没有明确地定义未来和过去，而所有的事件以循环的形式一个影响着另一个。我们简洁地打个比方说，我们处于强烈的“双重”影响之下：没有时间机器的话，事件受来自于过去的数据流的影响（而不是来自于未来的！这是因果关系原则的要旨）；而环中的事件，响应来自于过去和未来两个方向的信息。

因此，有了时间机器，今天的事件一定是不仅与过去、而且与未来相一致（即由过去和未来决定）！我在许多年以前阐述的这个自洽性（self-consistency）原则，今天似乎已被研究时间机器的每一个人接受了。近来，我和同事们能够证明，这个原则可以从物理学的基本定律中推导出。

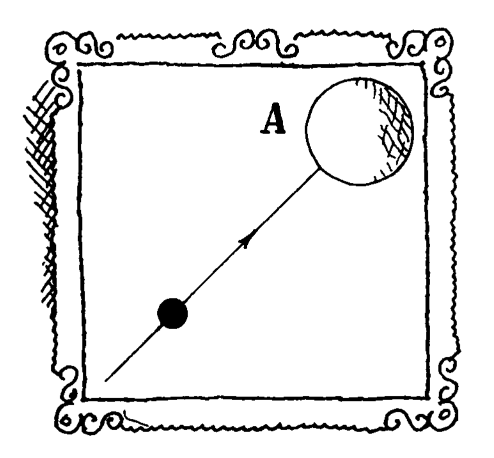
我们还是回到模拟“祖父佯谬”上来。考虑下面简单的例子：台球在桌上的运动，假设不存在时间机器。

击打一只球，引导其运动将它送入选定的球袋 A（见图 15.1a），这并不困难。现在拿一个与第一只球相同的球，在





(a)




(b)

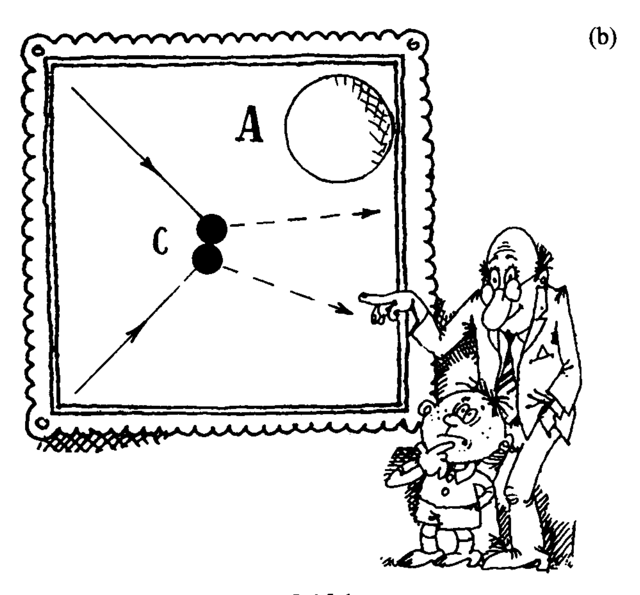



图 15.1

第一只球到达球袋之前滚动第二只球，使它与第一只球在图15.1b 中的 C 点相碰撞，这对一个即使是中等水平的台球选手来说，通常也不是个问题。现在第一只球在碰撞后改变了轨道，不再进入球袋 A 了。

我们现在可以说，由于与第二只球相碰撞，第一只球的“命运”戏剧性地改变了。它没有经过 A 口落入球袋中，而是继续留在桌子上。

现在我们做相似的试验，但是使用时间机器。与前面的例子不同的是，这个试验只涉及一只球。此外，我们不是在台球桌上做，而是在远离地球引力场的宇宙空间。

我们假定时间机器有两个出入口 A 和 B，见图 15.2 所示。

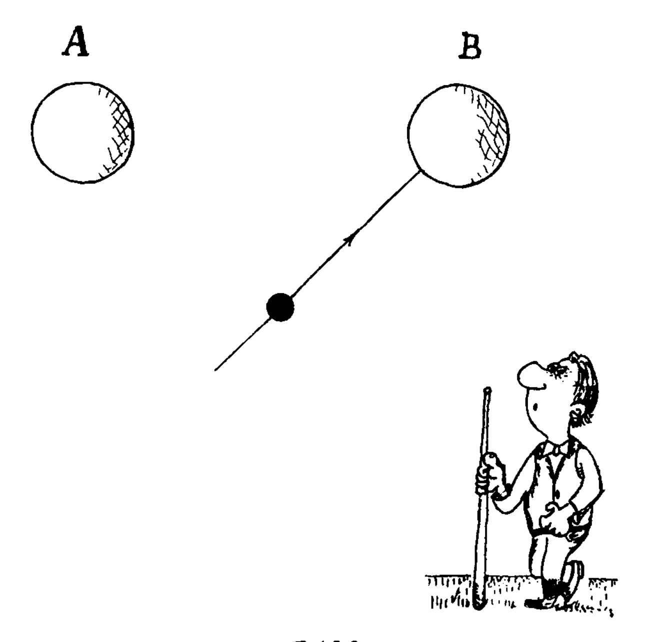



图 15.2





如果球进入 B 口，然后穿过短的虫洞，它就将在进入 B 口之前的过去，出现在 A 口中。

现在假定我们的时间机器不是很“强有力”的，它只能将球送回20秒之前的过去。可以开始我们的试验了。我们从离 B 口一定的距离上用球杆击打球，我们知道，在进入 B 口之后，它就将在进入B口之前20秒的过去在A口出现。因此，这个画面就像下面描绘的这样。

球朝B口滚去，但是在进入 B 口之前，它的“较老的版本”在未来中从A口出现了，并在时间机器外保持着运动(见图 15.3a)。可以计算出原来击杆的力度和方向，使球的两个“版本”：一个是较年轻的球（即落入B口之前的球)，另一个是较老的球（即通过 A 口来自于未来的球)，同时到达 C 点并发生碰撞。

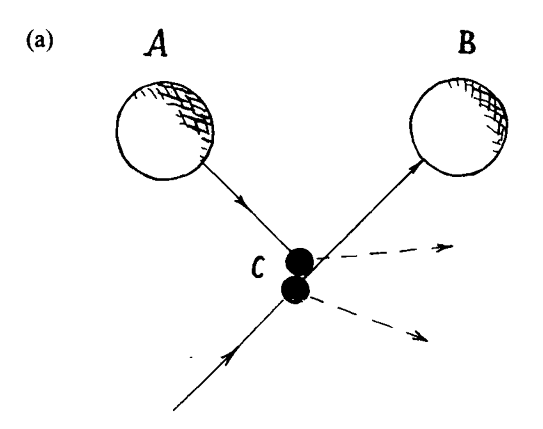
现在，一切都像我们通常在台球桌上看到的情景了。由于碰撞的结果，使得较年轻的球剧烈地改变了它的轨道，因此，球根本不会进入时间机器的 B 口中。

“胡说,”读者说道，“如果球没有落入B，它的‘较老的版本’就不会在A中出现！这就意味着碰撞不会发生，较年轻的球将滚入B并从A中出现。这将产生碰撞！……佯谬出现在我们面前了！”

事实上，在这一连串的争论中，我们犯了一个基本的逻辑错误。实际上，当我们沿着较年轻的球的轨道通向B口时，我们一开始就忽略了碰撞的结果。只是在确信碰撞会发生的时候，我们才说：“现在将碰撞考虑进去，看看碰撞后轨迹是怎样发生变化的”。然而，这是个有缺陷的争辩，必须从一开始就要将碰撞的结果考虑进去。的确，球只运动一次，我们不能将它的运动处理成没有碰撞的运动然后又是有碰撞的运







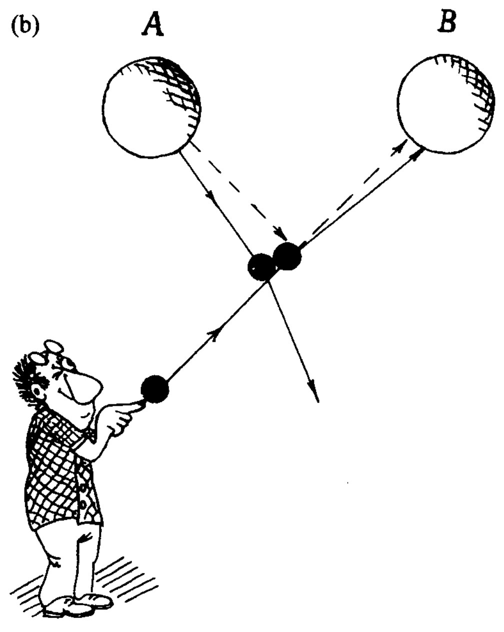




图 15.3





动。这意味着，未来（即较老的球在未来中出现）对事件的影响，必须从时间为零时开始考虑。

如果我们立即将来自未来的球(较老的球)，对目前较年轻的球的影响考虑进去，将会发生些什么呢？我们就开始分析吧。

设想碰撞不是剧烈的，而只是轻微的斜擦。读者可能会产生疑惑:“难道我们不能调整朝B运动的年轻球碰撞的力和方向，使得碰撞是猛烈的，而不只是斜擦的吗？”在这种情况下会发生什么，几行之后读者们就会知道了。

首先我们需要分析在斜擦的情况下会发生什么。年轻球的轨迹于是不会发生剧烈的变化，而只是些微的变化（见图15.3b)。它进入B口，在过去中从A口出现，然后沿着与以前稍有不同的轨迹运动。在这个修改后的轨迹上，年老的球与年轻的球发生了不是很剧烈的碰撞(如果轨迹不发生变化，就会发生剧烈的碰撞)，只是轻微的斜擦（见图15.3b)。

问题就在这里！考虑了由于碰撞而引起的轨迹的变化，会自动地导致斜擦！一个简单的数学计算表明，如果我们在推动球时选择的方向和动量，能使得在最初的假定下发生猛烈碰撞并导致佯谬（即，在计划最初的推动时，忽略了碰撞的影响)，那么，在实际上，我们得到的是轻微的斜擦。

通过合理地调整初始条件，有可能使得年轻的和年老的球发生激烈碰撞吗？是的，有这种可能。为了做到这一点，我们需要将球推向与到B口非常不同的方向，所以，没有时间机器的话，球将滚向远离B口的地方。然而，有了时间机器，年老的球从A口中出现，与年轻的球发生了猛烈的碰撞，改变了它的轨迹，使它恰好落入B口，并允许它在未来中从A口出现。注意，发生的所有这一切都是完全自动的！没有任





何周密的计划去改变最初推动的初始条件：这些条件是相当任意的。

此处我不去探究这个问题的其他许多令人兴奋的特点。读者可能已经注意到了，即使是在只有一只台球（！）的简单机械运动的情况下，有时间机器的情况与没有时间机器的普通情况就大相径庭。重要的事情是，力学定律自动地防止了佯谬。

“很好，”读者说道，“在上面分析的例子中，佯谬可能确实能够消除。但是，我们提出一个稍复杂些的实验：让球在空间中飞行，而不是在桌子上滚动，并且我们在球朝向前面的部分，装上由雷达和计算机自动控制的大炮。当雷达检测到一个台球位于这个武装球的前面不远时（比如说，在前面不到1米），会触发大炮开火了。

现在的情况很类似于‘祖父佯谬’。一旦从未来中出现的球，接近了与年轻的球相碰撞的C点，年老的球上的大炮开火并将年轻的球击毁。现在斜擦也不可能了，所以佯谬看来似乎是不可避免的了。”

耐心点，我的读者，请耐心点。我们很快就会看到，这种情况下也不会产生佯谬。

下面来描述一种可能发生的情况。

年轻的球也带着指向前方的大炮朝B口运动，带有大炮的年老的球刚从A中出现并朝聚会点C运动。但是，与年轻的球不同的是，年老的球在旋转（几句话之后，我将解释旋转是怎样出现的）。当两只球到达汇合点时，由于旋转的缘故，年老的球上面的大炮和雷达指向了旁边，雷达“看不到”年轻的球，触发器不会被触发，再一次发生了斜擦。碰撞轻微地改变了年轻的球的轨迹并使球旋转。这就是为什么在未





来中从A出现的球是旋转的原因。旋转阻止了灾难并消除了佯谬。

这个例子给出了对“祖父佯谬”相当准确的模拟，即使是以一种很简单的机械形式。

现在读者可能这样反对:“好的，但我还是相信在某些特定的情况下，佯谬是不可避免的。让我们来设计真正剧烈的东西。例如，让我们在球中装上炸弹，只要球的表面上任何一点被碰上，炸弹就会爆炸。看样子很明显，在任何碰撞的情况下，不管它是多么轻微，都会引发毁灭两只球的爆炸。佯谬是不可避免的。对此，你能怎么说？”

灾难大概是不可避免的了，但是佯谬不会是完全一样的。事情像下面这样发展（见图15.4)。年轻的球带着炸弹朝B运动，在某个特定的时刻，A口释放出……噢，不，不是较年老的球，而是从爆炸中喷射出的碎片。还是再等几句话之后，我们就会清楚碎片从何而来。

碎片穿越外空间飞行，击中了年轻的球并引起爆炸。球爆炸后，碎片朝各个方向飞去，而引起爆炸的碎片也被破坏了。至少有一片碎片进入了B口，穿过通道，并在过去中从A中出现。它就是引起爆炸的碎片。

这个例子清楚地表明了，未来是如何确定现在的事件，以及在有时间机器的情况下，未来、过去和现在，是怎样在事实上“混合在一起”的。的确，作为炸弹爆炸的结果，碎片穿过了时间机器，进入了过去，并成为爆炸本身的起因!

我们就此停住。还可以虚构很多的问题，有一些问题能产生比我们描述的更加荒谬的结果，另一些由于它们的复杂性而不可推算。但是，还没有已知的证明表明这些例子能导致矛盾。依我看来，不存在这样的证明。

A

B

炸弹

图 15.4





时间机器彻底地改变了相当多的过程，并导致了许多意想不到的结果。在此我不去分析它们了。在这一领域，物理学家只是刚刚开始研究。

我们来概括一下。

随着时间机器成为现实，未来开始影响过去。这种影响在所有事件的产生时都将表现出来。但是，一旦一个事件发生了(它受过去的事件和未来的事件两者的影响)，这就是结果，它不能被改变。"已经发生的不能是未完成的"[阿梅莉亚·格林(Amelia Greene)，1983]。

还有，暗杀祖父母的情况又如何？使用时间机器能犯下这个滔天罪行吗？回答是毫不含糊的：不！基普·索恩这样提出：

……当你试图杀你的祖母时，某些事物不得不使你住手。是什么？怎样做的？答案(如果有的话)远不清楚，因为它需要人类的自由意愿。即使是在没有时间机器的情况下，自由意愿和物理定律之间的相容性，也是十分含混的问题。

至于"自由意愿"的约束，读者应该注意到，即使没有时间机器，物理学的任何定律都对"自由意愿"加以限制。比如说，我可能希望在天花板上行走(没有特殊装备)：我的"自由意愿"怂恿我这么做。但这是不可能的。万有引力定律限制了我的"自由意愿"，对此，我无能为力。

在时间机器面前，对"自由意愿"的限制当然会有所不同，但是原则上说，它们在当今物理学中也不是什么特别的东西。

我将采用爱因斯坦的评论，对关于施加于"自由意愿"上的限制的简短讨论做一总结。有时间对这类问题进行深入考虑的读者可能会对它感兴趣。爱因斯坦讲道："叔本华





(Schopenhauer) 曾经说过，‘一个人可以为所欲为，但却不能随心所欲’。”[“结语 · 苏格拉底对话” (*Epilogue. A Socratic dialogue* in M. Planck *Where is Science Going?* London, 1933, 120)]。

必须再一次强调，有一些物理学家断然拒绝进行与时间机器论题相关的任何研究。

只有未来的研究才能证明，在这一点上谁是对的。莎士比亚说过：

本可以轰轰烈烈地大有作为，

由于顾虑到这一点，中间出了别扭，

而失去了行动的名义。*

我是个乐观主义者，相信这一研究新领域的巨大希望。

至于这个新思想的现实可行性，我将以威尔伯 · 莱特 (Wilbur Wright) 的话结束相当复杂的这一章。他在1901年写道，人类将在至少1000年后学会飞行。然而，奥维尔 · 莱特(Orville Wright)和威尔伯·莱特的第一次飞行在1903年就实现了；而现在，我们已经到达了其他行星！

---

* 这几句话选自莎士比亚的悲剧《哈姆雷特》(Hamlet) 中哈姆雷特的独白——译者注。

# 结　语



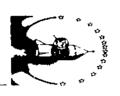

尽管如此，虽然取得了这些进步，时间的本性对我们而言仍然是一个很大的谜团。虽然科学的历史已有数千年，但是，我们只是刚刚踏上理解时间流的本质含义的道路上。

我们关于这个“宏伟之河”知识的积累是很漫长的。古希腊的科学将时间概念定义为一种独立的属性、物质世界中一切物体和现象与生俱来的普遍性质。人们确立了时间不是周而复始地运动、不是循环往复的，而是一成不变地从过去向未来流逝。

经典物理学的定律，其详细表述可在牛顿的著作中找到，给时间指派了空洞的持续期间的角色，没有开始、没有结束，永远以恒定的速度流逝，而不管世界中发生了什么事件。

一个世纪前开始的物理学革命，以及随后发生的科学上不懈的进步，产生了众多轰轰烈烈的发现。我们现在知道，时间长河的流逝速度确实可以受到影响。原则上说，可以实现通向遥远未来的“飞行”。可有谁知道，人们是否可以在“时间长河”中“逆流而上”，也就是说，走进过去？当然，从技术上说，目前两种时间旅行都还是不能实现的。

科学已经发现，在我们宇宙诞生后的最初时刻，时间的性质与我们今天观察到的有很大的不同。那时的时间以分立的量子形式而存在。天文学家发现的黑洞内部的时间也是极



不寻常的，在黑洞最核心处的时间也被分裂成“小水滴”。为什么时间不停地流逝而永不停息，物理学已慢慢地开始有了更深的理解。

但是，科学洞察得越深、揭示的秘密越多，它所发现的更加不可预言的、甚至更加使人畏缩的问题就越多。在这本书中，我试图描述的只是其中的一个，即令人极为兴奋的永恒时间运动的方向问题。

使我感到极为惊讶的是，以前和当代的一些杰出的物理学家认为：充满着众多新定律的发现之路并不是永无止境的，物理学所有的最重要的定律，将来总有一天会全都为人所知。例如，量子电动力学的创始人之一理查德·费恩曼，其贡献使他获得了1965年的诺贝尔物理奖，他写道：

> ……我认为肯定不会永远有新奇的事物，比如说在1000年内。不会总是让我们一直去发现越来越多的定律。如果我们真是这样做，那该是多么令人厌烦啊，有这么多层，一层压着一层……我们很幸运地生活在一个还能做出发现的年代。它就像发现美洲一样——你只能发现一次。我们所处的年代，是我们发现大自然基本定律的年代，而它将永不再来。这真令人兴奋、真不可思议，但是兴奋将不得不离我们而去。
>
> 《物理定律的特性》
>
> (*The Character of Physical Law*, London: Cox and Wyman, 1965)

我猜想引发这种情绪的原因是可能感觉到，物理学研究的一段辉煌历史时期正在走向尽头。如此一来就是牛顿和麦克斯韦经典物理学时期的终结，或者是创建量子电动力学的终结。

但是，当物理学的任何一个阶段结束时，即使是非常辉





煌的阶段，另一个新阶段也就开始了。许多物理学家不同意科学可能结束的观点。我想引用莫斯科一位著名的物理学家莫伊谢伊·马尔科夫的话，他说："在我们面前目睹的是一个真正崭新的、在某种意义上说是科学的辉煌的时代"。我坚定地认为，对空间和时间之谜的研究，将会在这个时代里扮演重要的角色。

科学家们现在面临的任务是去理解，为什么时间是始终如一的，它的性质和宇宙的普遍性质之间有何联系。最后，我们正在探讨实现穿越时间"飞向"未来和过去的问题。

只要人类存在，她就将为获取新知识而努力并将取得新的发现。

[General Information]
书名=时间之河
作者=诺维科夫  Novikov
页数=256
SS号=10920226
DX号=
出版日期=2001年
出版社=上海科学技术出版社